

ICS 45.020
S 61

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3544—2018

应答器传输系统测试规范

Test specification of balise transmission system

2018-12-25 发布

2019-07-01 实施

国家铁路局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 常规测试环境与测试工具 2

5 应答器测试 2

6 地面电子单元(LEU)测试 8

7 应答器传输模块(BTM)及天线单元测试 12

8 LEU 与有源应答器长距离电缆连通试验 16

附录 A(资料性附录) 测试工具及仪表 17

附录 B(规范性附录) 测试报文 20

附录 C(规范性附录) 测试位置 26

附录 D(规范性附录) 应答器测试方法 33

附录 E(规范性附录) 接口 A 参考测试设备 73

附录 F(资料性附录) LEU 输出回波损耗测试方法 89

附录 G(规范性附录) BTM 及天线单元测试方法 93

附录 H(资料性附录) 测试工具介绍 112

附录 I(资料性附录) BTM 及天线单元测试接口 143

附录 J(资料性附录) 参考测试设备制作方法 155

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由北京全路通信信号研究设计院集团有限公司提出并归口。

本标准起草单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所、北京和利时系统工程有限公司、北京交大思诺科技股份有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司。

本标准主要起草人：袁栩、丁欢、张轲、王瑞、王连福、刘星宇、戴毅欣。

应答器传输系统测试规范

1 范围

本标准规定了应答器传输系统(包括应答器、地面电子单元和 BTM 及天线单元)的测试内容及方法。

本标准适用于应答器、地面电子单元和 BTM 及天线单元的测试、试验与检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温(IEC 60068-2-1;2007,IDT)

GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 B:高温(IEC 60068-2-2;2007,IDT)

GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Db:交变湿热(12 h + 12 h 循环)(IEC 60068-2-30;2005,IDT)

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)(IEC 60529;2013,IDT)

GB/T 21563—2008 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验(IEC 61373;1999,IDT)

GB/T 24338.4—2009 轨道交通 电磁兼容 第3-2部分:机车车辆设备(IEC 62236-3-2;2003,MOD)

GB/T 24338.5—2009 轨道交通 电磁兼容 第4部分:信号和通信设备的发射与抗扰度(IEC 62236-4;2003,IDT)

GB/T 25119—2010 轨道交通 机车车辆电子装置(IEC 60571;2006,MOD)

TB/T 1447—2015 铁路信号产品绝缘电阻

TB/T 1448—1982 通信信号产品的绝缘耐压

TB/T 2846—2015 铁路地面信号产品振动试验方法

TB/T 3100.6—2017 铁路数字信号电缆 第6部分:应答器数据传输电缆

TB/T 3485—2017 应答器传输系统技术条件

TB/T 3498—2018 铁路通信信号设备雷击试验方法

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

大尺寸参考环 large size reference loop

按照大尺寸应答器有效参考区域围成的导体环。

3.1.2

标准尺寸参考环 normal size reference loop

按照标准尺寸应答器有效参考区域围成的导体环。

3.1.3

天线定位工具 antenna positioning tool

装载测试天线、BTM 天线单元等测试或被测设备,将其定位于空间中某给定位置的工具。

3.1.4

实验室测试测量系统 laboratory test and measurement system

控制测试仪表和测试工具,对应答器、BTM 测试流程进行自动控制与管理的测试测量系统。

3.1.5

实验室时间里程模块 laboratory time and odometer module

根据 LTMS 输入的运行参数产生测试时钟和里程信息,并根据测试需要触发并记录 BTM 通过应答器中心的参考时间与参考里程。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

APT:天线定位工具(Antenna Positioning Tool)

BTM:应答器传输模块(Balise Transmission Module)

LEU:地面电子单元(Lineside Electronic Unit)

LRRT:实验室参考接收机(Laboratory Reference Receiver Tool)

LTMS:实验室测试测量系统(Laboratory Test and Measurement System)

LTOM:实验室时间里程模块(Laboratory Time and Odometer Module)

MTIE:最大时间间隔误差(Maximum Time Interval Error)

RSG:参考信号发生器(Reference Signal Generator)

4 常规测试环境与测试工具

4.1 常规测试环境

在所有测试项中,如无特别说明,常规测试环境应满足表 1 所列要求。

表 1 常规测试环境要求

内 容	要 求
环境温度	15 ℃ ~ 35 ℃
相对湿度	25% ~ 75%
大气压强	86 kPa ~ 106 kPa
杂物环境	无杂物
上行链路频带 EMC 噪声	可忽略程度

在被测天线单元和应答器周围应保持一个无金属物空间(以下称为最小自由空间),见图 1,应答器以下 0.4 m 内的空间不应存在金属物,应答器以下 0.4 m ~ 0.7 m 内的空间可有少量金属支撑物。

4.2 测试工具及仪表

测试工具及仪表参见附录 A。

5 应答器测试

5.1 应答器功能与性能测试

5.1.1 上行链路磁场一致性测量

5.1.1.1 作用区应答器上行链路磁场一致性测量

5.1.1.1.1 测量方法

测试使用 B.2 定义的类型 1 报文,对 C.1 中规定的每个测试位置进行测量。

单位为米

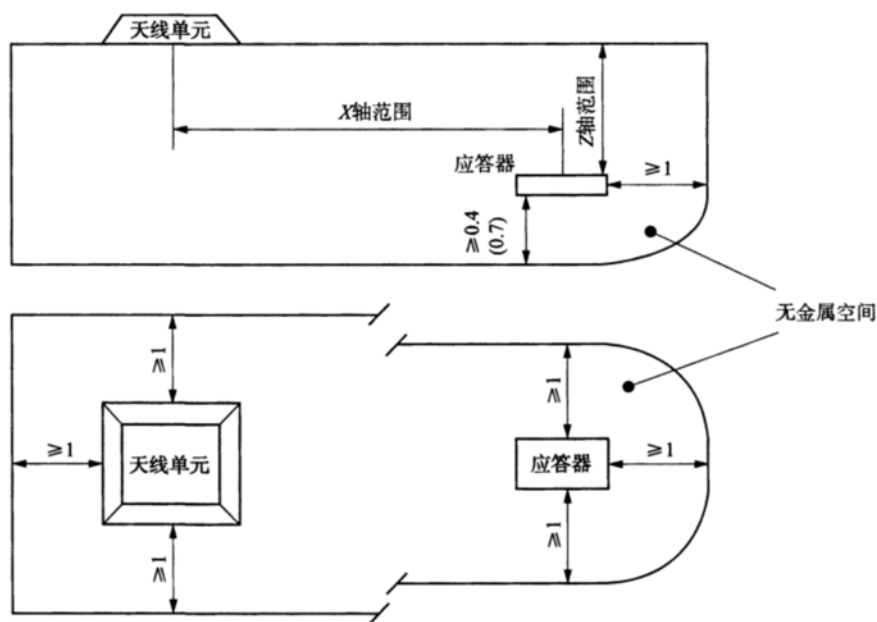


图1 最小自由空间定义

测量包含作用区 4.2 MHz 应答器环电流校准和作用区应答器上行链路磁场一致性测量,校准方法与步骤见 D.1.2,测量方法与步骤见 D.1.3。

5.1.1.1.2 预期结果

测量结果与参考磁场进行比较,应满足:应答器在作用区产生的上行链路 FSK 磁场与相应参考磁场差值应在 ± 1.5 dB 内,详见 D.1.4。

5.1.1.2 旁瓣区应答器上行链路磁场一致性测量

5.1.1.2.1 测量方法

测试使用 B.2 定义的类型 1 报文,对 C.2 中规定的每个测试位置进行测量。

测试包含旁瓣区 4.2 MHz 应答器环电流校准、旁瓣区应答器上行链路磁场一致性测量,校准方法与步骤见 D.1.5,测量标准、方法与步骤见 D.1.6、D.1.7。

5.1.1.2.2 预期结果

测量结果与参考磁场进行比较,应满足:应答器在旁瓣区产生的上行链路 FSK 磁场与相应参考磁场之间的偏差应在 +5 dB 与 $-\infty$ 之间。

5.1.1.3 串扰区应答器上行链路磁场一致性测量

5.1.1.3.1 测量方法

测试使用 B.2 定义的类型 1 报文,对 C.3 中规定的每个测试位置进行测量。

测试包含串扰区 4.2 MHz 应答器环电流校准、串扰区应答器上行链路磁场一致性测量,校准方法与步骤见 D.1.9,测量标准、方法与步骤见 D.1.10 和 D.1.11。

5.1.1.3.2 预期结果

测量结果与参考磁场进行比较,应满足:应答器在串扰区产生的上行链路 FSK 磁场与相应参考磁场之间的偏差应在 +5 dB 与 $-\infty$ 之间。

5.1.2 射频能量磁场一致性测量

5.1.2.1 作用区应答器射频能量磁场一致性测量

5.1.2.1.1 测量方法

测试使用 B.2 定义的类型 1 报文,对 C.1 中规定的每个测试位置进行测量。

测试包含作用区 27 MHz 射频能量磁通量校准和作用区应答器射频能量磁场一致性测量,校准方法与步骤见 D. 2. 2,测量方法与步骤见 D. 2. 3。

采用测量应答器发出规定的上行链路信号强度时的天线功率,间接反映应答器接收的射频能量磁场。

5. 1. 2. 1. 2 预期结果

测量结果与参考磁场比较,应满足:在作用区射频能量磁场与相应参考磁场差值应在 ± 1.5 dB 内,详见 D. 2. 4。

5. 1. 2. 2 旁瓣区应答器射频能量磁场一致性测量

5. 1. 2. 2. 1 测量方法

测试使用 B. 2 定义的类型 1 报文,对 C. 2 中规定的每个测试位置进行测量。

测试包含旁瓣区 27 MHz 射频能量磁通量校准、旁瓣区应答器射频能量磁场一致性测量,校准方法与步骤见 D. 2. 5,测量标准、方法与步骤见 D. 2. 6 和 D. 2. 7。

采用测量应答器发出规定的上行链路信号强度时的天线功率,间接反映应答器接收的射频能量磁场。

5. 1. 2. 2. 2 预期结果

测量结果与相应参考磁场之间的偏差应在 -5 dB 与 $+\infty$ 之间。

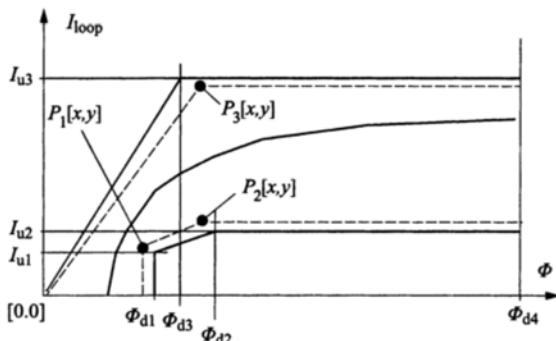
5. 1. 3 输入输出特性测量

5. 1. 3. 1 测量方法

测试包含应答器 4. 2 MHz 输入输出特性校准和应答器输入输出特性测量,校准和测量应包含自由空间条件和杂物覆盖条件,校准方法与步骤见 D. 3. 2,测量方法与步骤见 D. 3. 3。

5. 1. 3. 2 预期结果

应答器输入输出特性应满足图 2 要求,且当应答器工作于饱和区时,射频能量磁通量每增加 1 dB 而应答器响应下降不超过 0. 5 dB,图中坐标计算方法见 D. 3. 4。



说明: I_{loop} 为应答器产生的电流,表示上行链路磁场强度; Φ 为应答器感应的磁通量。

图 2 应答器输入输出特性

5. 1. 4 电缆串扰免疫测量

5. 1. 4. 1 测量方法

测试包含 27 MHz 射频能量磁通量校准、应答器响应校准和串扰测量,校准方法与步骤见 D. 4. 2 和 D. 4. 3,测量方法与步骤见 D. 4. 4。

5. 1. 4. 2 预期结果

当电缆在轨面以下 93 mm ~ 493 mm (不含) 位置时,上行链路频带内感应电流应小于 2 mA;

当电缆在轨面以下 493 mm 或更低位置时,上行链路频带内感应电流应小于 10 mA。

5. 1. 5 应答器阻抗测量

5. 1. 5. 1 测量方法

测试包含 27 MHz 射频能量磁通量校准和应答器阻抗测量,校准方法与步骤见 D. 5. 3,测量方法与

步骤见 D. 5. 4。

5. 1. 5. 2 预期结果

大尺寸应答器阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ 的绝对值应大于 $60\ \Omega$, 标准尺寸应答器阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ 的绝对值应大于 $40\ \Omega$ 。

5. 1. 6 应答器启动时间测量

5. 1. 6. 1 测量方法

测试包含 27 MHz 射频能量磁通量校准、应答器启动时间测量, 校准方法与步骤见 D. 6. 4, 测量方法与步骤见 D. 6. 9。

5. 1. 6. 2 预期结果

当 27 MHz 射频能量磁通量达到 TB/T 3485—2017 中表 5 和表 6 规定的 Φ_{dl} 时, 应答器应在 $150\ \mu\text{s}$ 内采用 FSK 调制方式向接口 A 发送数据。

5. 1. 7 上行链路信号特性测量

5. 1. 7. 1 测量方法

在 D. 6. 2 规定的标称测试条件、D. 6. 3 规定的特殊测试条件情况下, 对射频能量进行校准和对应答器上行链路信号 FSK 特性进行测量, 过程见 D. 6。

上行链路信号 FSK 特性包含中心频率与频率偏移、旁瓣后启动过程中中心频率与频率偏移、平均数据速率、最大时间间隔误差 (MTIE)、启动区幅度抖动、稳定区幅度抖动、信号带宽、接口 C 输入参数变化、接口 C 至 A 延时。

5. 1. 7. 2 预期结果

在各不同测试条件下, 上行链路 FSK 信号特性测量预期结果见表 2。

表 2 FSK 信号特性测量预期结果

序号	测试项	预期结果	说明
1	中心频率与频率偏移	$(f_{\text{Lmax}} + f_{\text{Hmax}})/2 < 4.409\ \text{MHz};$ $(f_{\text{Lmin}} + f_{\text{Hmin}})/2 > 4.059\ \text{MHz};$ $(f_{\text{Hmax}} - f_{\text{Lmin}})/2 < 302.00\ \text{kHz};$ $(f_{\text{Hmin}} - f_{\text{Lmax}})/2 > 262.48\ \text{kHz}$	详见 D. 6. 5
2	旁瓣后启动过程中中心频率与频率偏移	$(f_{\text{Lmax}} + f_{\text{Hmax}})/2 < 4.409\ \text{MHz};$ $(f_{\text{Lmin}} + f_{\text{Hmin}})/2 > 4.059\ \text{MHz};$ $(f_{\text{Hmax}} - f_{\text{Lmin}})/2 < 302.00\ \text{kHz};$ $(f_{\text{Hmin}} - f_{\text{Lmax}})/2 > 262.48\ \text{kHz}$	详见 D. 6. 6
3	平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 2.5\%) \text{ kbit/s}$	详见 D. 6. 7
4	MTIE	MTIE(1) $= \begin{cases} 272 \times 10^{-9} \text{ s} & 1 \text{ bit} \leq \tau \leq 16 \text{ bit} \\ 396 \times 10^{-9} \text{ s} & 16 \text{ bit} < \tau \leq 140 \text{ bit} \\ \tau \times \frac{10^{-6}}{564.48} + 148 \times 10^{-9} \text{ s} & 140 \text{ bit} < \tau \leq 1\ 000 \text{ bit} \end{cases}$ 或 MTIE(2) $= \begin{cases} 236 \times 10^{-9} \text{ s} & 1 \text{ bit} \leq \tau \leq 5 \text{ bit} \\ 370 \times 10^{-9} \text{ s} & 5 \text{ bit} < \tau \leq 50 \text{ bit} \\ 2.5 \times \tau \times \frac{10^{-6}}{564.48} + 148 \times 10^{-9} \text{ s} & 50 \text{ bit} < \tau \leq 1\ 000 \text{ bit} \end{cases}$ 式中: τ 为位数的测试区段, 单位为 bit	详见 D. 6. 8

表 2 FSK 信号特性测量预期结果(续)

序号	测 试 项	预期结果	说 明
5	启动区幅度抖动	平均幅度值偏差 -2.0 dB ~ +1.5 dB	详见 D. 6. 9
6	稳定区幅度抖动	平均幅度值偏差 -2.0 dB ~ +1.5 dB	详见 D. 6. 10
7	信号带宽	10 dB 信号带宽小于 1 MHz	详见 D. 6. 11
8	接口 C 输入参数变化	在定义的接口 C 输入信号条件下,应答器功能正常	详见 D. 6. 12 仅适用于有源应答器
9	接口 C 至接口 A 延时	小于 10 μs	详见 D. 6. 12 仅适用于有源应答器

5. 1. 8 有源应答器接口 C 特性测量

5. 1. 8. 1 测量方法

在 D. 7. 2 规定的标称测试条件下,测试对于不同接口 C 输入特性时的应答器响应,测试方法及过程见 D. 7。

5. 1. 8. 2 预期结果

在各不同测试条件下,应答器响应的预期结果见表 3。

表 3 有源应答器接口 C 特性测量预期结果

序号	测 试 项	预期结果	说 明
1	接口 C 信号幅度变化	参考接收机能正确接收应答器发送的报文,中心频率、频率偏移、平均数据速率及 MTIE 满足表 2 的要求	详见 D. 7. 5. 2
2	接口 C 信号平均数据速率变化		详见 D. 7. 5. 3
3	接口 C 信号抖动		详见 D. 7. 5. 4
4	接口 C 不同回波损耗		详见 D. 7. 5. 5
5	接口 C4(可选)	射频能量达到 TB/T 3485—2017 中表 5 和表 6 规定的 Φ_{d1} 之后 150 μs 内出现接口 C4 信号,或在 Φ_{d1} 之前出现接口 C4 信号,信号保持时间为 150 μs ~ 350 μs,此时输入阻抗最大为 $0.1 \times Z _{未激励}$;参考接收机能正确接收应答器发送的报文,该报文在接口 C4 信号出现期间无中断	详见 D. 7. 5. 6
6	默认报文转换	接口 C 失效后,应在等价于 341 位数据传输的时间内,由传输源于接口 C 的数据正确转换到传输自身存储的默认报文,并在默认报文发送前插入了 75 ~ 128 位连续逻辑“1”或连续逻辑“0”序列;接口 C 恢复正常后,应答器继续发送默认报文直至本次工作结束	详见 D. 7. 5. 7

5. 1. 9 破坏性试验

5. 1. 9. 1 试验方法

测试包含 27 MHz 射频能量磁通量校准及破坏性试验,方法与步骤见 D. 8。

5. 1. 9. 2 预期结果

经过破坏性试验后,应答器符合 5. 1. 3. 2 的要求。

5. 2 应答器型式试验

5. 2. 1 温度试验

5. 2. 1. 1 低温试验

5.2.1.1.1 试验方法

按照 GB/T 2423.1—2008 进行试验。

低温条件： $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，4 h。

5.2.1.1.2 预期结果

试验内容按 D.6.5 和 D.6.8 要求进行试验，试验结果符合表 2 中第 1 项和第 4 项的要求。

5.2.1.2 高温试验

5.2.1.2.1 试验方法

按照 GB/T 2423.2—2008 进行试验。

高温条件： $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，4 h。

5.2.1.2.2 预期结果

试验内容按 D.6.5 和 D.6.8 要求进行试验，试验结果符合表 2 中第 1 项和第 4 项的要求。

5.2.1.3 交变湿热试验(适用有源应答器)

5.2.1.3.1 试验方法

按照 GB/T 2423.4—2008 进行试验。

交变湿热条件： $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；循环次数：2。

5.2.1.3.2 预期结果

恢复 1 h 后，试验内容按 D.6.5 和 D.6.8 要求进行试验，试验结果符合表 2 中第 1 项和第 4 项的要求。

5.2.2 振动试验

5.2.2.1 试验方法

按照 TB/T 2846—2015 表 2 中规定的 3 类进行 1 个循环的共振试验及耐久试验。

5.2.2.2 预期结果

试验完成后，应答器输出报文正确。

5.2.3 电磁兼容试验

5.2.3.1 试验方法

应答器电磁兼容试验按照 GB/T 24338.5—2009 进行。

试验内容及其限值见表 4。

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验的免测频段为 2.5 MHz ~ 6 MHz 以及 27.095 MHz \pm 500 kHz。

5.2.3.2 预期结果

符合表 4 规定的性能判据要求。

表 4 应答器电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单 位	试验位置	性能判据	说 明
1	射频电磁场辐射	80 ~ 1 000 10 80	MHz V/m % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级	—
2	数字无线电话的 射频电磁场辐射	800 ~ 960 1 400 ~ 2 000 20 80	MHz MHz V/m(载波的 r. m. s 值) % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级	—
3	工频磁场	50/60 16.7 0 100	Hz Hz Hz(直流) A/m(r. m. s 值)	机箱端口	A 级	—

表 4 应答器电磁兼容试验及其限值(续)

序号	试验项目	试验规范	单 位	试验位置	性能判据	说 明
4	静电放电	± 6 ± 8	kV(接触放电) kV(空气放电)	机箱端口	B 级	—
5	脉冲磁场	300	A/m	机箱端口	B 级	—
6	电快速瞬变脉冲群	± 2 5/50 5	kV(峰值) ns(T_r/T_h) kHz(重复率)	I/O 端口	A 级	仅适用有源 应答器
7	浪涌	1.2/50 ± 2	μ s kV(共模)	I/O 端口	B 级	仅适用有源 应答器
8	射频场感应的传导 骚扰	0.15 ~ 80 10 80 150	MHz V % AM(1 kHz) Ω (源阻抗)	I/O 端口	A 级	仅适用有源 应答器

5.2.4 外壳防护等级测试

5.2.4.1 试验方法

按照 GB/T 4208—2017 进行。

5.2.4.2 预期结果

符合 GB/T 4208—2017 规定的 IP67 要求。

6 地面电子单元(LEU)测试

6.1 LEU 功能与性能测试

6.1.1 数据接收与数据采集测试

6.1.1.1 开关量信号采集测试

6.1.1.1.1 测量方法

测试项适用于具备开关量采集功能的 LEU。

使用模拟开关量工具连接 LEU 的输入,LEU 输出与匹配负载连接,按照输入输出对应表,遍历 LEU 开关量信号的输入条件,使用报文读写工具读取 LEU 输出报文内容。

制造非预期的开关量信号输入条件,使用报文读写工具读取 LEU 输出报文内容。

6.1.1.1.2 预期结果

在各不同开关量状态条件下,LEU 输出响应的预期结果见表 5。

表 5 LEU 开关量信号采集测试预期结果

序号	测 试 项	预期结果	说 明
1	符合预期的开关量信号变化响应	开关量信号输入符合预期时,读取的 LEU 输出报文与输入输出对应表相符合	输入输出对应表由 LEU 制造商提供
2	非预期开关量信号变化响应	开关量信号故障或状态与输入输出对应表不符时,读取的 LEU 输出报文应为 LEU 默认报文	输入输出对应表由 LEU 制造商提供

6.1.1.2 串行通信数据输入测试

6.1.1.2.1 测量方法

测试项适用于具备串行通信功能的 LEU。

使用接口 S 模拟装置与 LEU 输入连接,按接口协议向 LEU 传输数据,LEU 输出与匹配负载连接,使用报文读写工具读取 LEU 输出报文内容。

6.1.1.2.2 预期结果

在不同串行通信状态条件下,LEU 输出响应的预期结果见表 6。

表 6 LEU 串行通信数据输入测试预期结果

序号	测试项	预期结果	说明
1	串行通信数据输入与 LEU 输出报文对应关系	LEU 输出报文与串行通信数据输入相符合,或与输入输出对应表相符合	输入输出对应表由 LEU 制造商提供
2	串行通信数据输入无效时的响应	LEU 应输出默认报文	
3	单通道故障(断链)时的响应	LEU 输出报文与正常链路的数据输入相符合,或与输入输出对应表相符合	

6.1.2 输出特性测量

6.1.2.1 接口 C1 特性测量

6.1.2.1.1 测量方法

LEU 输出接匹配负载,测量负载上接口 C1 信号的幅度、平均数据速率、眼图特性、回波损耗。

6.1.2.1.2 预期结果

LEU 输出接口 C1 特性的预期结果见表 7。

表 7 LEU 输出接口 C1 信号测量预期结果

序号	测试项	预期结果	备注
1	信号幅度	TB/T 3485—2017 中 6.3.2.5 节图 11 规定的信号幅度 V_2 满足: $14 V_{pp} \leq V_2 \leq 18 V_{pp}$	输出接 120 Ω 阻性负载
2	平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 0.02\%) \text{ kbit/s}$	—
3	眼图	符合 TB/T 3485—2017 中 6.3.2.5 节眼图要求,且: 时间抖动 $T_{\text{jitter}} < 60 \text{ ns}$ 上升时间 $> 100 \text{ ns}$ (幅度 10% 到 90%)	输出接 120 Ω 阻性负载,指标要求见 D.7.3.2
4	回波损耗	$> 6 \text{ dB}$	测试方法及步骤参见附录 F

6.1.2.2 接口 C6 特性测量

6.1.2.2.1 测量方法

LEU 输出接匹配负载,测量负载上接口 C6 信号的幅度、频率、谐波、回波损耗。

6.1.2.2.2 预期结果

LEU 输出接口 C6 特性的预期结果见表 8。

表 8 LEU 输出接口 C6 信号测量预期结果

序号	测试项	预期结果	说明
1	信号幅度	接口 C6 信号峰峰值 V 满足： $20 V_{PP} \leq V \leq 23 V_{PP}$	输出接 170 Ω 阻性负载
2	信号频率	8.82 kHz \pm 0.1 kHz	—
3	谐波	二次谐波含量应小于 -20 dBc(170 Ω 阻性负载) 高次谐波含量应小于 -40 dBc(120 Ω 阻性负载,频率为 0.1 MHz ~ 1 MHz)	—
4	回波损耗	> 4 dB	测试方法及步骤参见附录 F

6.1.3 电缆开路/短路试验

6.1.3.1 试验方法

使用符合 TB/T 3100.6—2017 规定的应答器数据传输电缆连接 LEU 与有源应答器,电缆长度为 2 500 m,在 LEU 输出端接入配套使用的防雷器件;在 500 m、1 000 m、1 500 m、2 000 m、LEU 输出端及有源应答器端分别模拟电缆开路与短路。

6.1.3.2 预期结果

在电缆开路与短路时,LEU 能给出电缆故障表示或告警信息;电缆恢复正常后,LEU 故障表示或告警信息消失。

6.2 LEU 型式试验

6.2.1 温度试验

6.2.1.1 低温试验

6.2.1.1.1 试验方法

按照 GB/T 2423.1—2008 进行试验。

低温条件: -40 $^{\circ}\text{C}$, 4 h, 不通电。

6.2.1.1.2 预期结果

按 6.1.2 要求检验表 7 中序号 1、2 内容和表 8 中序号 1、2 内容,并符合其规定的预期结果要求。

6.2.1.2 高温试验

6.2.1.2.1 试验方法

按照 GB/T 2423.2—2008 进行试验。

高温条件: +70 $^{\circ}\text{C}$, 4 h, 通电。

6.2.1.2.2 预期结果

按 6.1.2 要求检验表 7 中序号 1、2 内容和表 8 中序号 1、2 内容,并符合其规定的预期结果要求。

6.2.1.3 交变湿热试验

6.2.1.3.1 试验方法

按照 GB/T 2423.4—2008 进行试验。

交变湿热条件: +55 $^{\circ}\text{C}$; 循环次数: 2。

6.2.1.3.2 预期结果

恢复 1 h 后,按 6.1.2 要求检验表 7 中序号 1、2 内容和表 8 中序号 1、2 内容,并符合其规定的预期结果要求。

6.2.2 振动试验

6.2.2.1 试验方法

按照 TB/T 2846—2015 表 2 中规定的 1 类进行 1 个循环的共振试验及耐久试验。

对于室外运用的设备,按照 TB/T 2846—2015 表 2 中规定的 2 类进行 1 个循环的共振试验及耐久

试验。

6.2.2.2 预期结果

试验完成后,按 6.1.2 要求检验表 7 中序号 1、2 内容和表 8 中序号 1、2 内容,并符合其规定的预期结果要求。

6.2.3 电磁兼容试验

6.2.3.1 试验方法

LEU 电磁兼容试验按照 GB/T 24338.5—2009 进行。

选取 LEU 四路输出中任意一路进行试验。

试验内容及其限值见表 9。

表 9 LEU 电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单 位	试验位置	性能判据
1	射频电磁场辐射	80 ~ 1000 10 80	MHz V/m % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级
2	数字无线电话的射频电磁场辐射	800 ~ 960 1 400 ~ 2 000 20 80	MHz MHz V/m(载波的 r. m. s 值) % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级
3	工频磁场	50/60 16.7 0 100	Hz Hz Hz(直流) A/m(r. m. s 值)	机箱端口	A 级
4	脉冲磁场	300	A/m	机箱端口	B 级
5	静电放电	±6 ±8	kV(接触放电) kV(空气放电)	机箱端口	B 级
6	射频场感应的传导骚扰	0.15 ~ 80 10 80 150	MHz V % AM(1 kHz) Ω(源阻抗)	I/O 端口 电源端口	A 级
7	电快速瞬变脉冲群	±2 5/50 5	kV(峰值) ns(T_r/T_f) kHz(重复率)	I/O 端口 电源端口	A 级
8	浪涌	1.2/50 ±2 ±1 ±2	μs kV(共模) kV(差模) kV(非平衡系统差模)	I/O 端口 电源端口	B 级
9	传导发射	0.15 ~ 0.5 0.5 ~ 30	MHz MHz	电源端口	准峰值 79 dBuV, 平均值 66 dBuV 准峰值 73 dBuV, 平均值 60 dBuV
10	辐射发射	30 ~ 230 230 ~ 1 000	MHz MHz	机箱端口	3 m, 准峰值 50 dBuV/m 3 m, 准峰值 57 dBuV/m

6.2.3.2 预期结果

符合表 9 规定的性能判据要求。

6.2.4 雷电电磁脉冲防护试验

6.2.4.1 试验方法

LEU 电源端口按照 TB/T 3498—2018 表 1 中规定的严酷等级 2 进行试验,信号端口按照表 2 中规定的严酷等级 1 进行试验。

对于室外运用的设备,LEU 电源端口按照 TB/T 3498—2018 表 1 中规定的严酷等级 3 进行试验,信号端口按照表 2 中规定的严酷等级 5 进行试验。

6.2.4.2 预期结果

符合 TB/T 3498—2018 中 7.3 规定的 A 类判定条件。

6.2.5 绝缘试验

6.2.5.1 试验方法

当输入电压为 AC 220 V 时,按照 TB/T 1448—1982 表 2 要求对电源端口与机壳间进行耐压试验,试验电压 AC 1 000 V,施加电压时间 1 min。

按照 TB/T 1447—2015 要求对电源端口与机壳间进行绝缘电阻测试。

6.2.5.2 预期结果

耐压试验结果应符合 TB/T 1448—1982 中 2.6 规定的要求。

正常绝缘电阻不低于 25 M Ω ,潮湿绝缘电阻不低于 1.5 M Ω 。

7 应答器传输模块(BTM)及天线单元测试

7.1 BTM 及天线单元功能与性能测试

7.1.1 传输试验

7.1.1.1 试验方法

在 C.4、C.6 和 G.1 规定的环境条件下,试验 BTM 及天线单元关于应答器探测、可靠数据传输、旁瓣管理以及准确定位的能力,试验方法及过程见 G.5。

7.1.1.2 预期结果

BTM 能正确接收仿真序列中的应答器信息,正确报告应答器报文、定位数据。

7.1.2 射频能量信号电气特性测量

7.1.2.1 测量方法

在 C.7.1 和 C.7.2 规定的环境条件下,使用参考环对 BTM 及天线单元的输出信号进行测量,测量方法及过程见 G.6。

7.1.2.2 预期结果

射频能量信号为连续信号,磁场频率为 27.095 MHz \pm 5 kHz,当频偏不小于 10 kHz 时,载波噪声应小于 -110 dBc/Hz。

7.1.3 最大磁通量测量

7.1.3.1 测量方法

在 C.7.1 和 C.7.2 规定的环境条件下,使用不同阻抗参考环对 BTM 及天线单元发送的射频能量信号进行测量,测量方法及过程见 G.7。

7.1.3.2 预期结果

磁通量值不超过 TB/T 3485—2017 中 6.1.1.5 节中规定的 Φ_{d4} ,即对于大尺寸参考环磁通量值不超过 200 nWb,对于标准尺寸参考环磁通量值不超过 130 nWb。

7.1.4 上行链路信号电气特性试验

7.1.4.1 试验方法

在 C.7.1 和 C.7.2 规定的环境条件下,试验 BTM 及天线单元对于上行链路信号(中心频率、频偏、数据速率、MTIE 和幅度抖动)的处理能力,测量方法及过程见 G.8。

7.1.4.2 预期结果

见 7.1.1.2。

7.1.5 串扰免疫试验

7.1.5.1 试验方法

在 C.5、C.6 和 G.1 规定的环境条件下,试验 BTM 及天线单元的串扰免疫能力,测量方法及过程见 G.9。

7.1.5.2 预期结果

无串扰发生。

7.1.6 电缆串扰免疫试验

7.1.6.1 试验方法

试验 BTM 及天线单元对于电缆的串扰免疫能力,测量方法及过程见 G.10。

7.1.6.2 预期结果

对于电缆到天线单元的上行链路串扰,无应答器探测、应答器定位报告。

对于天线单元到电缆的射频能量串扰,当电缆位于轨面以下 93 mm 时,电流应小于 25 mA;当电缆位于轨面以下 493 mm 时,电流应小于 10 mA。

7.1.7 应答器探测能力监督试验

7.1.7.1 试验方法

在 G.1.2.3 规定的环境条件下,试验 BTM 及天线单元对于应答器探测功能的监督能力,试验方法及过程见 G.11。

7.1.7.2 预期结果

天线单元位置高于指定高度时,无告警信号。

7.1.8 各类报文处理试验

7.1.8.1 试验方法

在 C.7.1、C.7.2 规定的条件下,试验 BTM 及天线单元对各类报文的处理能力,测量方法及过程见附录 G.12。

7.1.8.2 预期结果

见 7.1.1.2。

7.1.9 应答器序列处理

7.1.9.1 试验方法

在 C.7.1、C.7.2 规定的环境条件下,试验 BTM 及天线单元对应答器序列的处理能力,测量方法及过程见 G.13。

7.1.9.2 预期结果

见 7.1.1.2,且应答器顺序不发生混乱。

7.1.10 基本接收机解码功能试验

7.1.10.1 试验方法

采用 B.3 规定的测试报文,验证 BTM 解码功能,测量方法及过程见 G.14。

7.1.10.2 预期结果

对于各测试报文,处理结果如下:

- a) 对于 S1 报文、S2 报文,应报告正确解码的报文,或拒绝解码;
- b) 对于 S3 报文~S8 报文,应拒绝解码。

7.2 BTM 及天线单元型式试验

7.2.1 温度试验

7.2.1.1 BTM 及天线单元低温试验

7.2.1.1.1 试验方法

按 GB/T 25119—2010 中 12.2.3 进行。

BTM 低温条件: -25 ℃, 4 h, 不通电。

天线单元低温条件: -40 ℃, 4 h, 不通电。

按 G.1.1 规定的环境条件, 对 7.1.1、7.1.2 要求进行试验。

7.2.1.1.2 预期结果

见 7.1.1.2、7.1.2.2。

7.2.1.2 BTM 及天线单元高温试验

7.2.1.2.1 试验方法

按 GB/T 25119—2010 中 12.2.4 进行。

BTM 高温条件: 70 ℃, 4 h, 通电。

天线单元高温条件: 70 ℃, 4 h, 通电。

按 G.1.1 规定的环境条件, 对 7.1.1、7.1.2 要求进行试验。

7.2.1.2.2 预期结果

见 7.1.1.2、7.1.2.2。

7.2.1.3 BTM 及天线单元交变湿热试验

7.2.1.3.1 试验方法

按 GB/T 25119—2010 中 12.2.5 进行。

7.2.1.3.2 预期结果

BTM 及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.2.2 振动与冲击试验

7.2.2.1 BTM 振动试验

7.2.2.1.1 试验方法

按 GB/T 21563—2008 中 1 类 B 级进行。

7.2.2.1.2 预期结果

试验结束后, BTM 及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.2.2.2 天线单元振动试验

7.2.2.2.1 试验方法

安装在转向架的天线单元按 GB/T 21563—2008 中 2 类进行, 安装在车体的天线单元按 GB/T 21563—2008 中 1 类 B 级进行。

7.2.2.2.2 预期结果

试验结束后, BTM 及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.2.2.3 BTM 冲击试验

7.2.2.3.1 试验方法

按照 GB/T 21563—2008 中 1 类 B 级进行。

7.2.2.3.2 预期结果

试验结束后, BTM 及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.2.2.4 天线单元冲击试验

7.2.2.4.1 试验方法

安装在转向架的天线单元按 GB/T 21563—2008 中 2 类进行, 安装在车体的天线单元按 GB/T 21563—2008 中 1 类 B 级进行。

7.2.2.4.2 预期结果

试验结束后, BTM 及天线单元接收应答器报文功能正常。

7.2.3 电磁兼容试验

7.2.3.1 试验方法

BTM 电磁兼容试验按 GB/T 24338.4—2009 进行。

试验内容及其限值见表 10。

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验的免测频段为 2.5 MHz ~ 6 MHz 以及 27.095 MHz \pm 500 kHz。

表 10 BTM 电磁兼容试验及其限值

序号	试验项目	试验规范	单 位	试验位置	性能判据
1	射频电磁场辐射	80 ~ 1 000 10 80	MHz V/m % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级
2	静电放电	± 6 ± 8	kV(接触放电) kV(空气放电)	机箱端口	B 级
3	数字无线电话的射频电磁场辐射	800 ~ 960 1 400 ~ 2 000 20 80	MHz MHz V/m(载波的 r. m. s 值) % AM(1 kHz)	机箱端口	A 级
4	射频场感应的传导骚扰	0.15 ~ 80 10 80 150	MHz V(载波的 r. m. s 值) % AM(1 kHz) Ω (源阻抗)	I/O 端口 电源端口	A 级
5	电快速瞬变脉冲群	± 2 5/50 5	kV(峰值) ns(T_r/T_h) kHz(重复率)	I/O 端口 电源端口	A 级
6	浪涌	1.25/50 2 1 12 2	μ s kV(线—地) kV(线—线) Ω (线—地 源阻抗) Ω (线—线 源阻抗)	电源端口	B 级
7	电压暂降、短时中断和电压变化	供电方式为: GB/T 25119—2010 中表 1 规定的“由不带电压调整器的蓄电池供电”;电源断电为 S2 级	—	电源端口	A 级
8	传导发射	0.15 ~ 0.5 0.5 ~ 30	MHz MHz	电源端口	准峰值 99 dBuV 准峰值 93 dBuV
9	辐射发射	30 ~ 230 230 ~ 1 000	MHz MHz	机箱端口	3 m, 准峰值 50 dBuV/m 3 m, 准峰值 57 dBuV/m

7.2.3.2 预期结果

符合表 10 规定的性能判据要求。

7.2.4 绝缘耐压试验

7.2.4.1 绝缘试验

7.2.4.1.1 试验方法

按照 GB/T 25119—2010 中 12.2.9.1 进行。

7.2.4.1.2 预期结果

电源端口与机壳间绝缘电阻不应低于 25 M Ω ,经过交变湿热试验后绝缘电阻不应低于 1 M Ω 。

7.2.4.2 耐压试验

7.2.4.2.1 试验方法

对电源端口与机壳间,按照 GB/T 25119—2010 中 12.2.9.2 进行试验。

7.2.4.2.2 预期结果

符合 GB/T 25119—2010 中 12.2.9.2 规定的要求。

8 LEU 与有源应答器长距离电缆连通试验

8.1 试验方法

使用符合 TB/T 3100.6—2017 规定的应答器数据传输电缆连接有源应答器与 LEU,电缆长度为 2 500 m,并在 LEU 输出端接入配套使用的防雷器件;试验报文(LEU 传输报文)分别采用 B.2 定义的类型 8、类型 9、类型 10 和类型 11 报文;使用报文读写工具读取应答器输出报文。

8.2 预期结果

应答器输出的报文与试验报文一致。

附 录 A
(资料性附录)
测试工具及仪表

A.1 测试工具及仪表

测试工具及仪表见表 A.1,表中设备编号与本标准测试连接图中的编号相对应。

表 A.1 测试工具及仪表

序号	设备名称	基本要求	设备编号	数 量	说 明
1	信号发生器	正弦波;1 MHz ~ 100 MHz GPIB 或其他自动控制接口	1	1	—
2	衰减器	6 dB	2	1	—
3	射频功率放大器	输出功率:不小于 150 W 频率范围:2 MHz ~ 30 MHz	3	1	—
4	衰减器	3 dB,不小于 100 W	4	1	—
5	标准测试天线	—	5	1	制作,参见 J.3
6	修改测试天线	—	6	1	制作,参见 J.3
7	参考环	分标准尺寸参考环和大尺寸参考环两种,与测试对象的类型相对应	7	3	制作,参见 J.2.1
8	参考环巴伦	—	8	3	制作,参见 J.5
9	衰减器	20 dB	9	1	—
10	功率计 功率计探头	频率范围:100 kHz ~ 6 GHz GPIB 或其他自动控制接口	10	1 1	—
11	衰减器	10 dB	11	1	—
12	专用低通滤波器	—	12	2	参见 A.3
13	参考信号发生器	—	13	1	参见 H.2
14	电流感应巴伦	—	14	1	制作,参见 J.5
15	信号分析仪	频率范围:10 Hz ~ 1 GHz 分析带宽:10 MHz GPIB 或其他自动控制接口	15	1	—
16	前置放大器	频率范围:0.05 MHz ~ 100 MHz 增益:20 dB 最大输出功率:9 dBm	16	1	—
17	4.2 MHz 天线	—	17	1	制作,参见 J.4
18	激励天线	—	18	1	制作,参见 J.4
19	通用巴伦	—	20	3	制作,参见 J.5
20	网络分析仪	频率范围:150 kHz ~ 1 GHz 2 端口 S 参数 具有等效电路模型的阻抗分析功能 GPIB 或其他自动控制接口	22	1	—

表 A.1 测试工具及仪表(续)

序号	设备名称	基本要求	设备编号	数 量	说 明
21	定向耦合器	频率范围:1 MHz~1 000 MHz 功率:100 W 耦合度:40 dB \pm 1.0 dB Nom 插入损耗:0.5 dB Max VSWR 驻波比:1.30:1 Max	23	1	—
22	可调衰减器	步长不大于 1 dB	27	1	—
23	射频功率放大器	不小于 30 W	28	1	—
24	衰减器	3 dB, 不小于 30 W	29	1	—
25	衰减器	20 dB, 不小于 20 W, 电压驻波比小于 1:1.05	31	1	—
26	电流探头	带宽:1.2 kHz~200 MHz 灵敏度(50 Ω):1 mV/1 mA 精度: \pm 3% 输入电流(RMS):2.5 A 输入电流(Peak):36 A	32	4	—
27	衰减器	10 dB, 20 W, 电压驻波比小于 1:1.05	33	1	—
28	V1 接口适配器	—	34	1	制造商提供
29	频谱分析仪	频率范围:3 Hz~3 GHz 分析带宽:25 MHz GPIB 或其他自动控制接口	35	1	—
30	射频开关	—	36	2	—
31	示波器	带宽:100 MHz 实时采样速率:100 MS/s	37	1	—
32	实验室测试管理系统 LTMS	—	38	1	制作, 参见 H.5
33	实验室时间和里程模块 LTOM	—	39	1	制作, 参见 H.1
34	V2 接口适配器	—	40	1	制造商提供
35	参考接收机	—	42	1	制作, 参见 H.6
36	大功率低通滤波器	—	45	1	制作, 参见 A.2
37	报文读写工具	—	47	1	制造商提供
38	模拟开关量工具	—	48	1	制造商提供
39	LEU 匹配负载	120 $\Omega \pm 1 \Omega \pm j1 \Omega$	49	4	制造商提供
40	LEU 匹配负载	170 $\Omega \pm 1 \Omega \pm j1 \Omega$	50	4	制造商提供
41	接口 S 模拟装置	—	51	1	制造商提供

A.2 大功率低通滤波器

大功率低通滤波器性能如下:

- a) 27 MHz 频率下连续功率大于 50 W, 4 MHz 频率下 100 ms/s 脉宽的脉冲功率大于 100 W;

- b) 3 MHz ~ 6 MHz 频带内,输入和输出电压驻波比优于 1.4:1;
- c) 3.8 MHz ~ 4.6 MHz 频带内,输入和输出电压驻波比优于 1.2:1;
- d) 3 MHz ~ 6 MHz 频带内,衰减小于 0.3 dB;
- e) 3 MHz ~ 6 MHz 频带内,衰减纹波小于 0.1 dB;
- f) 3 MHz ~ 6 MHz 频带内,群时延变化在 ± 10 ns 范围内;
- g) 高于 27 MHz 时,衰减大于 60 dB。

A.3 专用低通滤波器特性

专用低通滤波器特性如下:

- a) 1 MHz ~ 6 MHz 频带内,输入和输出电压驻波比优于 1.2:1;
- b) 3 MHz ~ 6 MHz 频带内,群时延变化在 ± 10 ns 范围内。

以上特性适用的温度范围为 0 °C ~ 40 °C。

附 录 B
(规范性附录)
测试报文

B.1 概述

测试报文应包含用户信息,按照 TB/T 3485—2017 规定的报文编码规则进行编码,并与天线的运动(实物或半仿真)相符(基本接收机功能测试使用 B.3 中规定的测试报文除外)。

本标准使用长报文(1 023 位)和短报文(341 位)。

B.2 描述测试报文,其中表 B.1 为用户数据,表 B.2 给出对应的用户报文,表 B.3 给出报文类型的说明,表 B.4 给出对应的编码后的传输报文。

表 B.5 给出了用于基本接收机功能测试的测试报文特性,表 B.6 给出对应的编码后的传输报文。

对于表 B.4 和表 B.6 中的每条报文,相应的比特流可从其十六进制数中得到,即用四位二进制数(最高位在最左边)代替每一个十六进制数。对于短报文,应忽略表 B.4 和表 B.6 中相应的十六进制数的最后 3 比特,对于长报文,应忽略最后一比特。报文发送按照从左至右的顺序,从获得比特流的最左侧进行。发送的第一位(第 340 位或第 1 022 位)是报文的最高位,最后传送一位(第 0 位)是最低位。

表 B.4 和表 B.6 中每条报文的检验和用于防止报文被错误更改的检验和计算方法为:将连续的十六进制报文按照每两个十六进制数一组切分(最左边为最高位),然后将所有数字相加得到校验和。

B.2 测试报文

测试所用的报文见表 B.1~表 B.4,其中表 B.1 为用户数据,表 B.2 给出对应的用户报文,表 B.3 给出报文类型的说明,表 B.4 给出对应的编码后的传输报文。

表 B.1 编码前的用户数据

报文 编号	长短 报文	类型	应答器描述								
			M_BALISE	M_PIG	M_DUP	M_MCOUNT	M_PACKET	L_PACKET	NID_TRAIN	L_XTEXT	X_TEXT
			8 比特	4 比特	2 比特	8 比特	8 比特	8 比特	20 比特	8 比特	可变
1	短报文	2	1000 0000b	0001b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	1d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
2	短报文	2	1000 0000b	0010b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	2d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
3	短报文	3	1000 0000b	0001b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	3d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
4	短报文	3	1000 0000b	0010b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	4d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
5	短报文	4	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	5d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
6	短报文	4	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	6d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
7	短报文	5	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	7d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
8	短报文	5	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	8d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
9	长报文	9	1000 0000b	0001b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	9d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
10	长报文	9	1000 0000b	0010b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	10d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
11	长报文	10	1000 0000b	0001b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	11d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
12	长报文	10	1000 0000b	0010b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	12d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
13	长报文	11	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	13d	xxxxxxxx	xxxxxxxx

表 B.1 编码前的用户数据(续)

报文 编号	长短 报文	类型	应答器描述								
			M_BALISE	M_PIG	M_DUP	M_MCOUNT	M_PACKET	L_PACKET	NID_TRAIN	L_XTEXT	X_TEXT
			8 比特	4 比特	2 比特	8 比特	8 比特	8 比特	20 比特	8 比特	可变
14	长报文	11	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	14d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
15	长报文	12	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	15d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
16	长报文	12	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	16d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
17	短报文	1	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	17d	xxxxxxxx	xxxxxxxx
18	长报文	8	1000 0000b	0000b	00b	0d	71d(定值)	xxxxxxxx	18d	xxxxxxxx	xxxxxxxx

表 B.2 编码前的十六进制用户报文

报文编号	十六进制内容
1	80 10 01 1C D8 00 00 42 91 D3 08 59 4D 17 9D D5 88 1A 3F FF FF FF FF FF FF C0
2	80 20 01 1C 78 00 00 81 1C 15 0D 4D 7F FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF C0
3	80 10 01 1D 38 00 00 C4 17 8C 99 5E 09 CD 8D DB D4 17 1C 54 DC 92 9C D1 3F FF C0
4	80 20 01 1C A8 00 01 01 CA D8 52 0B 49 0D CA FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF C0
5	80 00 01 1D 38 00 01 44 0B CC 8B CE 10 94 52 D5 48 0B D1 57 4E 9B DA C9 BF FF C0
6	80 00 01 1D 28 00 01 83 DB 9B 88 9E 9D DB 52 98 D8 59 90 0F 51 95 11 FF FF FF C0
7	80 00 01 1C 68 00 01 C0 D6 10 54 7F FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF C0
8	80 00 01 1D 18 00 02 03 9A CF D6 D0 1A 8F DE 95 95 9A 90 CB 1E 1C 7F FF FF FF C0
9	80 10 01 1C B8 00 02 42 19 89 DC CF D8 11 1D 19 3F FC
10	80 20 01 1E 04 00 02 87 58 8B D6 48 9C D8 99 51 D4 55 8D 49 5A 18 53 D4 D3 4B D7 5A 9C 1C 0D 8C D4 54 91 CD DA 3F FC
11	80 10 01 1E AC 00 02 D1 C9 53 D5 9C D2 1C 4B 14 0C 0B C9 58 9C CD 8D 8D 14 4E 1A 1E 4D D0 DA 89 1D DA 0E 99 59 1E 8F 89 5A 0D 56 4C 91 91 8B 96 11 08 0A 49 55 4E 49 DD D7 1D 95 4A CF 1A D8 95 92 9C 4B 19 DD 54 8B DC 4D 0B 11 53 D5 17 0F 7F FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FC
12	80 20 01 1D B8 00 03 06 08 16 54 0B 8B 98 1C 52 CD 55 DD CC D3 D5 D8 1E 12 11 5B 4C 89 1D 8F D5 3F FC
13	80 00 01 1E D4 00 03 54 5B 16 5B D2 8B CE 4C 5D 57 4D C8 51 58 09 0D 4D 09 9A 57 9E 59 4A 5E 1C 1E 9B 17 4E 92 D3 57 55 9C 14 9B 4D 57 CC DD 49 CA CF 17 5D D2 55 8C 54 54 4A 97 10 94 1C CC 4D 5D 09 9D 17 5B 5A 13 9C 54 1D D6 DA 09 D9 49 8F 14 57 D5 9D CA 19 15 D8 D5 FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FC

表 B.2 编码前的十六进制用户报文(续)

报文编号	十六进制内容
14	80 00 01 1D C8 00 03 86 5B 51 12 C8 8C 57 5D 9C 5E 12 16 0D 4B 55 8F 5B CE 0F 49 C8 9A 09 CA 10 D7 3F FC
15	80 00 01 1E BC 00 03 D2 DA 0A DE 0B D9 88 0B 52 98 48 9B 10 8D DA 52 D7 9C 91 8C 88 94 1A 53 88 0B 53 0A 93 DD 14 0A CE 92 19 51 99 0C CB CE 8A D2 57 0F 57 4A 88 54 90 8A 09 1B 17 DA 49 53 D7 DD 55 CF 0E D2 10 91 5E 1A 52 5D 12 15 58 93 1B 8C 15 CC 3F FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FC
16	80 00 01 1E 88 00 04 0F 96 1B 0D 15 1D 5A 97 10 CF 8F CD 92 0A 54 12 1A 4E CE CE 89 15 19 4E 8A 8F D8 D9 D6 0B 96 11 0C 50 12 1B 8E 5E 0C DD C8 DB 13 1B 54 9E 8C 14 CE CF 97 59 9B 13 0B 1A 19 5E 4A 1B 9D 15 4E 3F FC
17	80 00 01 1C D8 00 04 42 95 8F 5C 99 95 11 D8 8B 89 4D BF FF FF FF FF FF FF FF FF C0
18	80 00 01 1E 58 00 04 8C 90 5C 1A D2 13 4A D4 8C D4 0B 4F 18 DB D6 17 15 1C 8B 90 5A 91 0F 4D CE 1E 9D 12 9A 4B 14 1C 88 C9 0C 1D 0C 0B 93 4F 8C 95 9B 53 8D 49 DD 5D 0C 1D 54 7F FC

表 B.3 测试报文类型

类型	说 明
1	短报文,逻辑 1 占 50% (±2%),切换均匀
2	短报文,逻辑 0 占 10% 到 40%,切换均匀
3	短报文,逻辑 0 占 60% 到 90%,切换均匀
4	短报文,逻辑 0 占 45% 到 55%,切换频率高
5	短报文,逻辑 0 占 45% 到 55%,切换频率低
8	长报文,逻辑 1 占 50% (±2%),切换均匀
9	长报文,逻辑 0 占 10% 到 45%,切换均匀
10	长报文,逻辑 0 占 55% 到 90%,切换均匀
11	长报文,逻辑 0 占 45% 到 55%,切换频率高
12	长报文,逻辑 0 占 45% 到 55%,切换频率低

表 B.4 编码后的传输报文

编号	大小	类型	校验和	十六进制值
1	短报文	2	18D0	75 BB BF 37 1E 7F 76 B9 25 D3 FD ED 46 BA D7 69 85 7B ED 37 F6 A5 F2 F4 3E FD 8C DF 5A 40 DA 7F BB 71 22 C5 BF 22 CD A3 9B 07 78
2	短报文	2	1C2D	DD 77 C1 57 C7 E7 F9 79 54 67 A8 B9 BE B1 FE 5F A8 37 D3 B7 A8 CD 2C EF F7 58 DC E6 D6 40 7C E7 B3 25 F8 B3 7B EF 6B 7C DA A8 E0
3	短报文	3	1058	0E 50 48 31 9E 85 A1 6B E4 A5 A4 88 A8 06 0A 70 18 A5 73 F0 2B 10 31 08 40 72 30 C0 90 40 72 80 89 22 04 E5 0E 6C 51 57 03 44 80

表 B.4 编码后的传输报文(续)

编号	大小	类型	校验和	十六进制值
4	短报文	3	0DFB	3B 47 71 49 18 C9 02 16 15 84 09 0C 49 31 C0 C9 0A E7 17 0C A0 44 53 12 66 08 05 83 94 40 48 77 B1 80 8A 58 F2 37 02 07 49 71 30
5	短报文	4	12A1	E8 AB AD 7C AA CD 75 66 23 49 71 75 3E 09 19 2E DA 8A 4D 5F 6C 4F 5B A5 51 09 56 CE 5E 40 4D 77 AA 52 B5 98 32 6A 47 51 76 ED 28
6	短报文	4	12D9	6D F2 AC D9 28 F5 5B 6F 4B 7F 15 22 AB 70 2C A9 6A D2 1B 52 72 0F 5A 16 99 2A 9D 99 26 40 5B 89 AD 2C A9 53 D3 4B B9 D5 5A 2D 38
7	短报文	5	1633	B2 9B EB C1 99 DF 37 80 69 28 BC 6E 06 60 2C 3F 94 37 3F 87 87 79 F7 BB E2 08 1C FE DE 40 71 16 11 C0 2F D2 7C F9 E3 C9 EB 4D 68
8	短报文	5	1710	DE FE F3 81 A7 7C 9F BE 05 E4 03 CD B3 BD 62 C7 03 DB B1 8E E3 10 F0 87 67 57 78 20 E0 40 43 8C 10 1E 01 E4 BC 91 60 D3 82 1D F0
9	长报文	9	4483	98 3B E6 32 7B 23 75 ED 96 19 46 9A 3D 0E F2 A6 3D 2D 7C 37 88 CD F7 77 C3 DD EB D1 82 65 A7 F5 22 D4 BB D4 75 3A DC 4D 34 2F 5E 63 91 C7 B3 92 96 BA 7D 7B EC DB 14 2F 24 5C 87 F8 EA 7D 3E 0D 2B F6 F2 F1 AB 99 5B 7E DF 45 3C 41 3C AE 77 C2 3B E9 7C 47 5A 7D F2 C5 5D 49 AA F3 30 67 74 FC 4A C7 59 F2 D9 ED 5E F9 13 E2 E6 17 85 92 CD 7B 0F D9 10 1B 51 67 29 2F B5 DF 89 B8 AC DE DA 7C
10	长报文	9	473B	BE 09 4B AD 38 41 5F E7 42 D4 6B A0 79 61 36 1B 64 27 9C DF 2B ED 3D E5 BC D9 E2 F6 DF 78 CC 52 E2 B3 16 BC B9 5D CD 8E 73 D7 5B F6 08 B9 0E F5 A3 E5 03 5B 3D D7 B3 15 E4 0C FB 45 55 D6 8F 75 5F 6D 75 1A 4F 7F 69 7C F6 7B 6D 8A 19 3F 4C 07 B7 A9 6E FC 73 F4 C6 EF D4 D8 70 DB F7 EF 79 90 C9 A1 25 8E 67 6E CA D0 E1 C2 69 CE D9 25 AE 0F F1 21 90 11 CD A9 7D BF A5 60 F6 F5 F4 BD 0B D8
11	长报文	10	36DA	70 88 05 88 70 13 48 B4 43 C0 F0 09 0A 45 D4 CC 19 02 54 BB 81 23 A8 91 CC 2A 41 35 03 DA F1 65 AE 5A 01 4B A8 7A C1 1C 56 1C 1D 6A 22 EE 6A 5D 15 37 E8 44 3D 52 62 1D 41 9E 2B 05 9F 0B 99 F2 8D 95 91 82 97 D6 10 1C 45 39 83 CD 5A 1D 46 F1 51 C0 96 8A 51 32 93 C1 74 81 8E A9 6B 12 03 9B 4E C8 4C F4 B8 6B 3F 68 40 F0 12 C3 2E 86 BE 38 B0 FB 90 3F 09 55 15 86 41 20 6C FA E7 29 86 20
12	长报文	10	3834	70 DA 90 A3 DA 44 AF 4B CA E8 D0 F7 08 69 A2 85 7B DC A4 12 C4 88 22 BA F8 29 C1 0C 60 90 F2 1E 23 09 58 21 A0 B8 91 DE 1A E0 21 D2 63 84 51 FD 47 24 A3 84 74 DC A5 ED 37 08 9C 77 12 03 EE 4D B2 97 30 85 40 C4 85 02 E6 E3 48 B5 88 2B 46 31 34 F8 87 09 3F 0C 11 50 CB 28 70 9F 70 11 1E 95 42 10 E4 3A 3C 74 83 51 13 A7 2C 12 D7 69 62 95 08 47 10 10 9F 4F 1F 52 30 D0 3D 0E 4A 10 74 A6
13	长报文	11	42E1	A1 E4 F4 35 1A 93 5B 15 44 A2 AB 75 B5 B7 56 B6 80 D5 66 DF 95 EA D3 30 3E 47 CD 15 BB BC 73 85 AC B6 7A 6F 31 DD 37 E8 9B DB 61 EA 24 BD 92 A2 2A 53 A4 69 6A 2A 64 3C CA F6 F6 5D 86 2A 61 7D A7 45 71 38 52 5D 3F C4 83 5A A4 AE 12 AD 15 6E 71 A6 6B 53 96 35 DA 01 F6 6A 93 B4 BC 14 E1 6C DA 7A DA 24 64 D1 0C 6B D2 8D E5 96 EA 18 F4 C4 F8 97 90 12 1C 94 E9 16 F9 8A A3 BC 29 56 63 CC
14	长报文	11	4054	12 19 4F 8C C4 FB B5 42 95 6A 9A D2 1A 5B 51 61 C6 A8 E3 FB 88 BA E2 AE 42 73 0C D9 9B E6 09 7D 92 B5 AE 45 A2 AD C6 61 5F 9C D5 5B CA 49 B2 0C 5A B5 22 A5 09 78 71 ED 4E C0 B7 B1 4B 24 FF 0F 40 B1 52 21 D6 0D 96 F2 B7 56 D4 BE 53 ED 29 B1 5D 2F 41 19 34 09 2B 76 AD 51 BC 97 0B A2 75 9A 60 33 A9 89 CE A5 F6 8E 29 7B 53 CF DA 6D D2 DE B6 A8 90 14 2B 2B C8 0A 55 45 E7 40 AA 95 99 5E

表 B.4 编码后的传输报文(续)

编号	大小	类型	校验和	十六进制值
15	长报文	12	45ED	38 21 B1 BB BE C3 B8 73 C3 86 FC 0D F6 26 B4 C9 54 C7 C7 72 CD F1 C9 26 F4 B8 F8 2A 07 AE 36 E8 78 F0 46 AF 46 88 60 B0 95 58 82 4C 43 9B E3 A1 E4 3C 2F 2F 2D F3 E5 E5 F5 06 D9 A4 25 F2 FB BD 14 F2 1C 27 C7 CA F9 77 D4 84 09 71 0F BD C6 38 A7 86 F3 1F E2 12 D3 0F C1 01 DC 31 98 B3 83 76 38 7E 8E 0C C4 0C B9 BE F8 2D C8 C4 84 07 CB 13 40 C9 90 12 DB 38 88 B9 10 F0 94 F5 8C F6 F9 26
16	长报文	12	4234	0E 6C 0C BD B1 B6 03 86 CD E6 59 DF 21 45 7F 50 10 FC CF 02 63 4F CE 32 F2 08 51 64 03 76 97 6E DA 80 CF 9C A2 F4 E3 DB CB E7 57 A8 7E 46 F8 47 4B C0 E3 EF 06 D0 76 7E 81 F9 B8 78 83 03 9B FC EA F5 F7 18 77 74 46 FC 5C 59 52 CF 2E E3 78 D3 12 A6 DC 22 1B 3A CE 57 C4 F0 49 6E 1D C3 82 1A 60 B8 EF 7C F3 07 42 7B 7F 30 FF 7D EE 11 F4 BC B9 C4 10 34 22 13 09 A3 AD F6 A6 4C 2B 9E 3C 36
17	短报文	1	15B6	BF 65 63 7E 56 AA 5C 65 D8 E6 51 F2 DB 38 ED CD 15 82 44 20 29 10 DE 35 0D 55 A9 8C 38 40 63 61 DA C6 AE C6 68 A6 93 27 BB F1 80
18	长报文	8	3DFB	24 68 68 D4 F1 DE B6 13 DD 24 C3 4D AF A1 DF 6A AA CD 41 1C 0A 51 20 71 5E E7 78 D3 28 7F 91 1D C2 2A 82 57 31 45 37 60 FF 42 E9 B6 A8 36 94 B6 71 EF 19 6A 52 17 B6 C4 F6 AF CB C8 9B CE 1A 7D 63 32 83 0E AA CB 7A 81 9A 9D 0F 8D 0F 8E 81 35 76 F6 CF 70 59 A5 D0 CD 09 34 76 46 15 23 04 C4 37 8F BC 7D 0C C9 BB 13 05 25 C0 72 C1 82 71 E5 CD C7 10 16 79 42 EB 9A 14 3B 89 92 A1 62 DD 9E
19	短报文	3		报文 4 在随机位置有 2 比特误码
20	短报文	3		报文 4 在随机位置有 20 比特的突发错误
21	短报文	3		报文 4 在随机位置有 2 对连续的比特丢失/插入
22	长报文	10		报文 11 在随机位置有 2 比特的误码
23	长报文	10		报文 11 在随机位置有 50 比特的突发错误
24	长报文	10		报文 11 在随机位置有 2 对连续的比特丢失/插入

B.3 特殊测试报文

测试所用的特殊测试报文见表 B.5、表 B.6,其中表 B.5 为特殊测试报文特性,表 B.6 给出特殊测试报文编码后的传输报文。

表 B.5 特殊测试报文特性

编号	说 明
S1	反转的有效短报文
S2	反转的有效长报文
S3	控制位 b107 错误的长报文,应被基本接收机拒绝
S4	b108 错误的短报文,应被基本接收机拒绝
S5	控制位错误的反转长报文,应被基本接收机拒绝
S6	同步位无效的重复短报文,应被基本接收机拒绝
S7	校验位无效的长报文,应被基本接收机拒绝
S8	用于短报文额外比特的检验,应被基本接收机拒绝。本测试报文由重复的短报文构成,第 461 到 1 022 比特反向,第 922 比特不反向。0~460 比特以及 461~921 比特由无错的短报文加额外 120 比特构成

表 B.6 特殊测试报文编码后的传输报文

编号	校核和	十六进制位
S1	1458	21 FD 51 D8 40 6E F3 AC 30 C1 53 B3 8E 91 13 34 E1 12 2C 03 DE 30 9E 10 2F 7F 4B CC FD BF A3 65 64 AB 8E 0F D3 5A 56 33 44 B2 A8
S2	4068	71 C6 74 E5 B5 0C 1C 6C 2A 91 6D 53 74 49 2A AD DB F6 95 18 39 23 30 5D AE 06 26 C3 2F 80 54 D3 EE 88 7E EC AD E6 23 17 DC FD DF 71 09 36 C5 1E F4 4E 7D 23 DF 24 5A D5 50 47 67 CA FC D7 13 F7 AB 6B 1C 58 B8 23 AF B9 D6 84 27 8A E4 9B 86 63 4B 84 83 5F 64 AE 6C 12 48 71 5C D7 41 80 90 6B 82 23 1C 28 FA 9B D7 E8 C0 94 51 D5 F1 30 E0 70 61 5E 6F E6 28 1D F7 CB 73 41 FE 29 61 BB E0 B2
S3	42F1	82 6F BD 12 DA BD 29 45 90 C5 A5 CB 2E 29 80 A7 E1 19 A6 6E 9F 8C D2 D4 0E E8 51 6E 32 65 AB 5D CE F7 AA 3C F5 29 67 36 C4 1F EC 55 C2 6D 50 C2 76 D3 DF 5A 16 D3 50 B2 76 4D C9 F9 47 60 3F A3 BE AC 8D 8B EF 51 A5 5B D7 CB B3 95 4F 2A 11 EC 26 C1 B8 E0 E4 87 1E 6C CE 79 60 E9 CF 95 D5 1C 38 F0 4A D7 51 16 73 7B 46 5F 1B 67 79 5A F0 4E 5B 65 84 1C DC 1A 4E 59 D9 5F 7E 52 F7 E7 B2 8A
S4	11BB	F7 9A E5 2B 6A 68 04 42 2E DC 45 55 93 F8 72 11 7B 36 3B D7 71 97 0B 33 8D 4C D1 1C 24 C0 44 71 04 31 44 D5 68 55 44 36 5B 60 A8
S5	411A	71 C6 74 E5 B5 0C 1C 6C 2A 91 6D 53 74 49 2A AD DB F6 95 18 39 23 30 5D AE 06 26 C3 2F 80 54 D3 EE 88 7E EC AD E6 23 17 DC FD DF 71 09 36 C5 1E F4 4E 7D 23 DF 24 5A D5 50 47 67 CA FC D7 13 F7 AB 6B 1C 58 B8 23 AF B9 D6 84 27 8A E4 9B 86 63 4B 84 83 5F 64 AE 6C 12 48 71 5C D7 41 80 90 6B 82 23 1C 28 FA 9B D7 E8 C0 94 51 D5 F1 30 E0 70 61 5E 5F E6 1B E5 B6 35 43 ED 86 E9 97 84 F5 B8
S6	3CA8	F7 9A E5 2B 6A 68 04 42 2E DC 45 55 93 F8 72 11 7B 36 3B D7 71 97 0B 33 8D 4C D1 1C 24 40 45 F5 B3 14 A4 27 0E 8A FF 6D A4 35 EF BC D7 29 5B 53 40 22 11 76 E2 2A AC 9F C3 90 8B D9 B1 DE BB 8C B8 59 9C 6A 66 88 E1 22 02 2F AD 98 A5 21 38 74 57 FB 6D 21 AF 7D E6 B9 4A DA 9A 01 10 8B B7 11 55 64 FE 1C 84 5E CD 8E F5 DC 65 C2 CC E3 53 34 47 09 10 11 7D 6C C5 29 09 C3 A2 BF DB 69 0D 7A
S7	3FD9	8E 39 8B 1A 4A F3 E3 93 D5 6E 92 AC 8B B6 D5 52 24 09 6A E7 C6 DC CF A2 51 F9 D9 3C D0 7F AB 2C 11 77 81 13 52 19 DC E8 23 02 20 8E F6 C9 3A E1 0B B1 82 DC 20 DB A5 2A AF B8 98 35 03 28 EC 08 54 94 E3 A7 47 DC 50 46 29 7B D8 75 1B 64 79 9C B4 7B 7C A0 9B 51 93 ED B7 8E A3 28 BE 7F 6F 94 7D DC E3 D7 05 64 28 17 3F 6B AE 2A 0E CF 1F 8F 9E A1 90 19 C7 4F 6E 71 5B 8A BA E3 37 B7 12 AE
S8	425C	DE 02 AE 27 BF 91 0C 53 CF 3E AC 4C 71 6E EC CB 1E ED D3 FC 21 CF 61 EF D0 80 B4 33 02 40 5C 9A 9B 54 71 F0 2C A5 A9 CC BB 4D 56 F0 15 71 3D FC 88 62 9E 79 F5 62 63 8B 77 61 A7 08 91 60 1E F1 84 F0 81 7B FA 5E 67 ED FD 1B 2B 25 5C 70 7E 9A D2 B1 9A 25 95 48 7F 54 76 10 1B BC EB 0C 30 54 EC E3 A4 44 CD 38 44 8B 00 F7 8C 27 84 0B DF D2 F3 3F 6F C8 D9 59 2A E3 83 F4 D6 95 8C D1 2C AA

附 录 C
(规范性附录)
测试位置

C.1 应答器作用区几何测试点位置

应答器作用区测试点见表 C.1(应答器/参考环与天线的相对位置)。

表 C.1 应答器作用区几何测试点 单位为毫米

Z	Y	X	Z	Y	X
220	-200	0	460	-350	0
220	-150	0	460	-300	300
220	-150	200	460	-300	-300
220	-150	-200	460	-250	0
220	-100	-100	460	-200	200
220	-100	100	460	-200	-200
220	0	250	460	0	-350
220	0	150	460	0	-250
220	0	0	460	0	0
220	0	-150	460	0	250
220	0	-250	460	0	350
220	100	-100	460	200	200
220	100	100	460	200	-200
220	150	200	460	250	0
220	150	-200	460	300	300
220	150	0	460	300	-300
220	200	0	460	350	0
340	275	0			
340	225	225			
340	225	-225			
340	0	-275			
340	0	0			
340	0	275			
340	-225	225			
340	-225	-225			
340	-275	0			
340					

C.2 应答器旁瓣区几何测试点位置

应答器旁瓣区测试点见表 C.2(应答器/参考环与天线的相对位置)。

表 C.2 应答器旁瓣区几何测试点

单位为毫米

Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
220	0	220	220	0	-200	220	150	0	220	-150	0
220	0	250	220	0	-250	220	200	0	220	-200	0
220	0	300	220	0	-300	220	250	0	220	-250	0
220	0	350	220	0	-350	220	300	0	220	-300	0
220	0	400	220	0	-400	220	350	0	220	-350	0
220	0	450	220	0	-450	220	400	0	220	-400	0
220	0	500	220	0	-500	220	450	0	220	-450	0
220	0	550	220	0	-550	220	500	0	220	-500	0
220	0	600	220	0	-600	220	550	0	220	-550	0
220	0	650	220	0	-650	220	600	0	220	-600	0
220	0	700	220	0	-700	220	650	0	220	-650	0
220	0	750	220	0	-750	220	700	0	220	-700	0
220	0	800	220	0	-800	220	750	0	220	-750	0
220	0	850	220	0	-850	220	800	0	220	-800	0
220	0	900	220	0	-900	220	850	0	220	-850	0
220	0	950	220	0	-950	220	900	0	220	-900	0
220	0	1000	220	0	-1 000	220	950	0	220	-950	0
220	0	1050	220	0	-1 050	220	1 000	0	220	-1 000	0
220	0	1100	220	0	-1 100	220	1 050	0	220	-1 050	0
220	0	1150	220	0	-1 150	220	1 100	0	220	-1 100	0
220	0	1200	220	0	-1 200	220	1 150	0	220	-1 150	0
220	0	1250	220	0	-1 250	220	1 200	0	220	-1 200	0
220	0	1300	220	0	-1 300	220	1 250	0	220	-1 250	0
						220	1 300	0	220	-1 300	0
						220	1 350	0	220	-1 350	0
						220	1 400	0	220	-1 400	0

C.3 应答器串扰区几何测试点位置

应答器串扰区测试点见表 C.3(应答器/参考环与天线的相对位置)。

表 C.3 应答器串扰区几何测试点

单位为毫米

Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
220	0	1 350	220	0	-1 350	220	1 400	0	220	-1 400	0
220	0	1 400	220	0	-1 400	220	1 450	0	220	-1 450	0
220	0	1 450	220	0	-1 450	220	1 500	0	220	-1 500	0
220	0	1 500	220	0	-1 500	220	1 550	0	220	-1 550	0
220	0	1 550	220	0	-1 550	220	1 600	0	220	-1 600	0
220	0	1 600	220	0	-1 600	220	1 650	0	220	-1 650	0
220	0	1 650	220	0	-1 650	220	1 700	0	220	-1 700	0
220	0	1 700	220	0	-1 700	220	1 750	0	220	-1 750	0
220	0	1 750	220	0	-1 750	220	1 800	0	220	-1 800	0
220	0	1 800	220	0	-1 800	220	1 850	0	220	-1 850	0
220	0	1 850	220	0	-1 850	220	1 900	0	220	-1 900	0
220	0	1 900	220	0	-1 900	220	1 950	0	220	-1 950	0
220	0	1 950	220	0	-1 950	220	2 000	0	220	-2 000	0
220	0	2 000	220	0	-2 000	220	2 050	0	220	-2 050	0
220	0	2 100	220	0	-2 100	220	2 100	0	220	-2 100	0
220	0	2 200	220	0	-2 200	220	2 200	0	220	-2 200	0
220	0	2 300	220	0	-2 300	220	2 300	0	220	-2 300	0
220	0	2 400	220	0	-2 400	220	2 400	0	220	-2 400	0
220	0	2 500	220	0	-2 500	220	2 500	0	220	-2 500	0
220	0	2 600	220	0	-2 600	220	2 600	0	220	-2 600	0
220	0	2 700	220	0	-2 700	220	2 700	0	220	-2 700	0
220	0	2 800	220	0	-2 800	220	2 800	0	220	-2 800	0
220	0	2 900	220	0	-2 900	220	2 900	0	220	-2 900	0
220	0	3 000	220	0	-3 000	220	3 000	0	220	-3 000	0

C.4 BTM 及天线单元作用区与旁瓣区测试点

选择的几何测试点应使天线单元在不同横向偏移条件下,能验证所需的作用区长度及潜在的旁瓣。

天线单元测试应在最低、标称、最大安装高度下进行。标称高度定义为被测天线单元静态位置平均值与应答器最高安装位置(轨面下 93 mm)之和。

在某些特定情况下,应限制测试高度,见 G.1.2。

在测试过程中,X 方向测试点应根据如下规则进行选择:

- 从 0 mm 到 ± 500 mm,步长为 20 mm(总共 51 点);
- 从 ± 500 mm 到 $\pm 1\,300$ mm,步长为 50 mm(共 32 点)。

在 C.6 和 C.7 的测试矩阵中,前半部分(从 0 mm 到 ± 500 mm)对应测试矩阵中的作用区,后半部

分(± 500 mm 到 $\pm 1\,300$ mm)对应旁瓣区。

横向位置(Y 方向)由天线单元制造商给定,对于每个横向偏移,应在上述定义的 X 方向位置进行测试。

几何测试点[$X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}$]称为几何参考点。

C.5 BTM 及天线单元串扰区测试点

BTM 及天线单元串扰区测试点见表 C.4。

天线单元应安装于制造商定义的最大安装高度和最小安装高度。

表 C.4 车载设备串扰测试几何测试点

单位为毫米

测试点	X	Y	测试点	X	Y
CT1	0	+1 400	CT2	0	-1 400
CT3	0	+1 600	CT4	0	-1 600
CT5	0	+1 800	CT6	0	-1 800
CT7	0	+2 000	CT8	0	-2 000
CT9	0	+2 200	CT10	0	-2 200
CT11	0	+2 400	CT12	0	-2 400
CT13	0	+2 600	CT14	0	-2 600
CT15	0	+2 800	CT16	0	-2 800
CT17	0	+3 000	CT18	0	-3 000
CT19	0	+3 200	CT20	0	-3 200
CT21	0	+3 400	CT22	0	-3 400
CT23	0	+3 600	CT24	0	-3 600
CT25	+1 400	0	CT26	-1 400	0
CT27	+1 600	0	CT28	-1 600	0
CT29	+1 800	0	CT30	-1 800	0
CT31	+2 000	0	CT32	-2 000	0
CT33	+2 200	0	CT34	-2 200	0
CT35	+2 400	0	CT36	-2 400	0
CT37	+2 600	0	CT38	-2 600	0
CT39	+2 800	0	CT40	-2 800	0
CT41	+3 000	0	CT42	-3 000	0
CT43	+3 200	0	CT44	-3 200	0
CT45	+3 400	0	CT46	-3 400	0
CT47	+3 600	0	CT48	-3 600	0

C.6 传输与串扰测试矩阵

C.6.1 测试区域对应测试环境

测试区域与测试环境组合见表 C.5,适用于 G.3、G.5 以及 G.9 规定的测试。测试区域的测试点见 C.4 和 C.5。

表 C.5 传输与串扰测试(测试区域对应测试环境)

测试环境	对应章节	作用区	旁瓣区	串扰区
标称	G. 1. 1	√	√	√
倾斜	G. 1. 2. 2	√	—	√
俯仰	G. 1. 2. 2	√	√	—
金属物	G. 1. 2. 3	√	√	√
护轮轨	G. 1. 2. 3	√	√	√
金属平面,参考环	G. 1. 2. 3	√	√	—
钢枕	G. 1. 2. 3	√	—	—
其他枕	G. 1. 2. 3	√	—	—
环线电缆	G. 1. 2. 3	√	—	√
金属物,天线	G. 1. 2. 3	√	√	—
盐水	G. 1. 2. 4	√	—	—
清水	G. 1. 2. 4	√	—	—
铁矿石	G. 1. 2. 4	√	—	—
天线上的冰	G. 1. 2. 4	√	—	—
组合	—	√	—	—
注:√代表测试环境应对应的测试区域。				

每个测试使用一种环境,最后一项“组合”使用的环境为:参考环下金属平面与天线单元无金属空间以外金属物环境的组合,见 G. 1. 2. 3。

不同温度下的测试见 G. 3. 2 及 G. 4。

C. 6. 2 几何测试点对应测试环境

几何测试点与测试环境组合见表 C. 6,适用于 G. 3、G. 5 以及 G. 9 规定的测试。测试区域的测试点见 C. 4 和 C. 5。

测试过程中,作用区和旁瓣区内的测试点在 C. 4 所列测试点基础上予以精简。

C. 7 其他特性测试矩阵

C. 7. 1 测试内容对应测试环境

测试内容与测试环境组合见表 C. 7,适用于 G. 6、G. 7、G. 8、G. 12、G. 13、G. 14 规定的测试。几何测试点见 C. 4。

射频能量信号电气特性测试在标称温度、最高温度、最低温度下进行。

表 C.6 传输与串扰测试(作用区几何测试点)

测试环境	对应章节	全 部	R1	R2
标称	G. 1. 1	√	—	—
倾斜	G. 1. 2. 2	—	√	—
俯仰	G. 1. 2. 2	—	√	—
金属物	G. 1. 2. 3	—	√	—
护轮轨	G. 1. 2. 3	—	√	—
金属平面,参考环	G. 1. 2. 3	—	√	—

表 C.6 传输与串扰测试(作用区几何测试点)(续)

测试环境	对应章节	全 部	R1	R2
钢枕	G.1.2.3	—	√	—
其他轨枕	G.1.2.3	—	√	—
环线电缆	G.1.2.3	—	√	—
金属物,天线	G.1.2.3	—	√	—
盐水	G.1.2.4	—	—	√
清水	G.1.2.4	—	—	√
铁矿石	G.1.2.4	—	—	√
天线上的冰	G.1.2.4	—	—	√
组合	—	—	—	√

注1:“全部”表示包含 C.4 中规定的所有的测试点。
 注2:“R1”表示仅测试最低和最高高度,最低高度仅测试旁瓣区。
 注3:“R2”表示仅测试最高高度。

表 C.7 其他特性测试(测试内容对应测试环境)

测试环境	对应章节	上行链路信号电气特性 (G.8)	各类报文处理(G.12)	射频能量信号电气特性 (G.6)	最大磁通量 (G.7)	应答器序列 (G.7)	基本接收机解码功能(G.14)
标称	G.1.1	√	√	√	√	√	√
倾斜	G.1.2.2	—	—	—	—	—	—
俯仰	G.1.2.2	—	—	—	—	—	—
金属物	G.1.2.3	√	√	√	—	—	—
护轮轨	G.1.2.3	—	—	—	—	—	—
金属平面,参考环	G.1.2.3	√	√	√	√	√	√
钢枕	G.1.2.3	√	√	√	—	—	—
其他轨枕	G.1.2.3	—	—	—	—	—	—
环线电缆	G.1.2.3	—	—	—	—	—	—
金属物,天线	G.1.2.3	√	√	√	—	√	√
盐水	G.1.2.4	—	—	—	—	—	—
清水	G.1.2.4	—	—	—	—	—	—
铁矿石	G.1.2.4	—	—	—	—	—	—
天线上的冰	G.1.2.4	—	√	—	—	—	—

C.7.2 几何测试点对应测试条件

几何测试点与测试条件组合见表 C.8,适用于 G.6、G.7、G.8、G.12、G.13、G.14 规定的测试。

测试过程中,作用区和旁瓣区内的测试点在 C.4 所列测试点基础上精简,具体数目见表 C.8,串扰区不适用于这些测试。

表 C.8 其他特性测试(几何测试点)

测试案例	对应章节	R3	R4	R5
上行链路电气特性	G. 8	√	—	—
多种报文	G. 12	√	—	—
射频能量特性	G. 6	—	√	—
最大磁通级别	G. 6	—	—	√
应答器序列	G. 13	√	—	—
基本接收机解码功能	G. 14	√	—	—
注 1:“R3”表示无横向偏移的标称高度。 注 2:“R4”表示仅在[$X=0,Y=0,Z=$ 标称高度]位置。 注 3:“R5”表示仅在作用区内无横向偏移时的最低高度。				

C.7.3 有源应答器数据源对应测试案例

有源应答器数据源测试案例见表 C.9。

表 C.9 有源应答器数据源

对应章节	测试项	接口 C	默认报文	说 明
D. 1	上行链路磁场一致性	√	—	所有校准与测试仅在自由空间进行,I/O 特性测试涉及的上行链路校准在 D. 3 中进行
D. 2	射频能量磁场一致性	√	—	所有校准与测试仅在自由空间进行,但需在部分杂物环境下进行校准,以完成 I/O 特性测试
D. 3	自由空间下 I/O 特性	√	√	使用默认报文时,不连接信号发生器
D. 3	其他环境下 I/O 特性	√	—	—
D. 4	电缆串扰	—	√	不连接信号发生器
D. 5	应答器阻抗	—	√	不连接信号发生器
D. 6	上行链路信号特性	√	√	对于默认报文,需要连接信号发生器(不启用),测试案例具体描述中明确说明了部分例外情况
D. 7	有源应答器控制接口	√	—	—
D. 8	破坏性测试	—	√	不连接信号发生器

附录 D

(规范性附录)

应答器测试方法

D.1 上行链路磁场一致性

D.1.1 概述

测试过程包括下列两个步骤：

- a) 校准 4.2 MHz 应答器环电流 I_{loop} ；
- b) 应答器上行链路磁场一致性测量。

测试工具中包含标准测试天线和修改测试天线,修改测试天线除没有 27 MHz 环外与标准测试天线完全相同,两种设备的详细描述参见 J.3。

测试工具中包含两种激励天线,一种是带有 27 MHz 环的标准激励天线,另一种是将标准天线中的 27 MHz 环修改为 4.2 MHz 环,称为 4.2 MHz 天线,两种设备的详细描述参见 J.4。

本节中校准和测试应使用 B.2 定义的类型 1 报文,应答器与参考环应使用相同的报文,测试和校准有源应答器时,应使用有源应答器控制接口传输发送的报文。

应答器磁场一致性测量仅在自由空间条件下进行。

D.1.2 作用区 4.2 MHz 应答器环电流校准

D.1.2.1 校准设备连接

宜按照图 D.1 进行校准设备连接,功率计 2 应能准确测量 -55 dBm 及以上信号,如使用频谱分析仪代替功率计 2,则频谱分析仪的测量带宽应为 1.2 MHz,前置放大器及之前的滤波器应尽可能接近修改测试天线,前置放大器之后的滤波器应尽可能接近功率计 2。

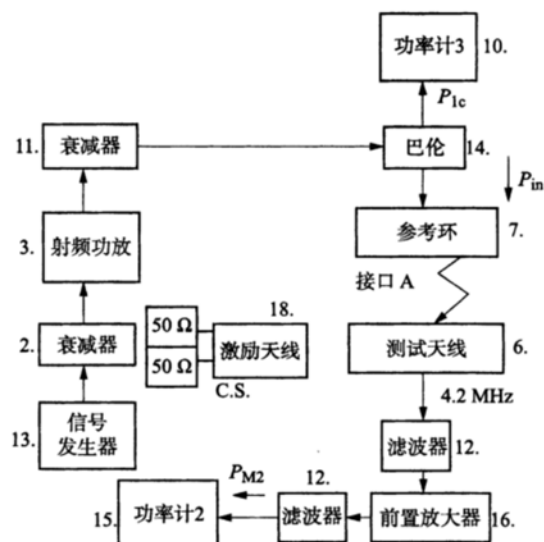


图 D.1 4.2 MHz 应答器环电流校准测试连接

D.1.2.2 校准过程

对 C.1 中规定的每个测试位置给出一个 P_{42RL} 参考值,并使用该参考值与对应位置的应答器测试结果 P_{42BA} 进行比较。参考值 P_{42RL} 反映了修改测试天线接收到的磁通量,由功率计 2 (P_{M2}) 测量,补偿后记为 P_{42RL} ,通过参考环的电流由功率计 3 (P_{1c}) 监督。

校准过程如下：

- 将修改测试天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,使修改测试天线电气中心与参考环电气中心对齐;检查参考环的 X 、 Y 、 Z 轴与定位系统的 X 、 Y 、 Z 轴对齐;将激励天线放置于相对参考环 $[X=440, Y=220, Z=0]$ 位置,在校准过程中该位置固定不变;
- 设置信号发生器产生携带类型1报文的FSK信号;
- 调节信号发生器的幅度,使通过参考环的电流达到约 I_{u2}/B (B 为参考环的匹配传输比),校准和补偿电流感应巴伦参见J.5,记录功率计3的读数(记为 P_{lc});
- 记录功率计2的读数(记为 P_{M2})、功率计3的读数(记为 P_{M3});
- 使用 P_{M3} 与步骤c)中测量的 P_{lc} 的差补偿 P_{M2} 的读数,按公式(D.1)记新值为 P_{42RL} (单位dBm);

$$P_{42RL} = P_{M2} + (P_{lc} - P_{M3}) \dots\dots\dots (D.1)$$

- 在C.1定义的所有 $[X, Y, Z]$ 位置重复步骤d)和e)。

D.1.3 作用区应答器上行链路磁场一致性测量

D.1.3.1 测量设备连接

宜按照图D.2进行测试设备连接,功率计3应能准确测量 -55 dBm及以上信号,如使用频谱分析仪代替功率计3,则频谱分析仪的测量带宽应为 1.2 MHz。前置放大器及之前的滤波器应尽可能接近修改测试天线,前置放大器之后的滤波器应尽可能接近功率计3。

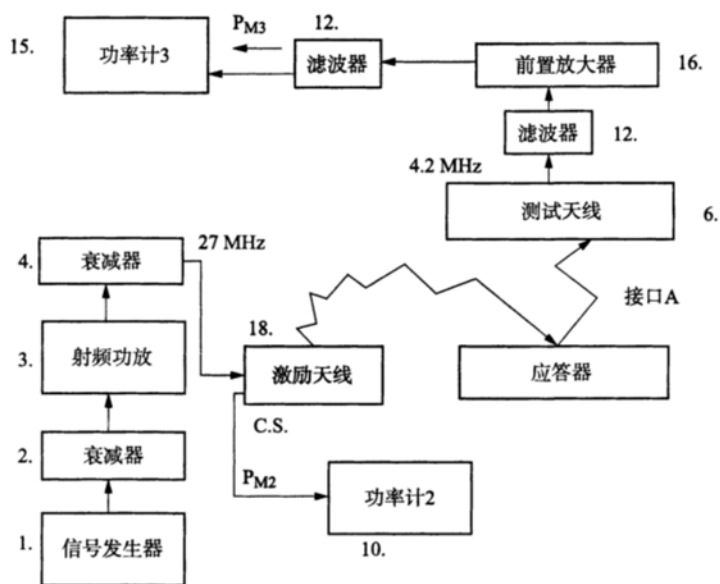


图 D.2 上行链路磁场一致性测试连接

D.1.3.2 测量过程

对C.1中规定的每个测试位置给出一个 P_{42BA} 参考值,并与对应位置的参考环校准结果 P_{42RL} 进行比较。测量值 P_{42BA} 反映了修改测试天线接收到的 4.2 MHz磁通量,由功率计3(P_{M3})测量,并使用测量过程中规定的方法进行补偿。通过激励天线提供 27 MHz射频能量激活应答器,使应答器输出环电流接近 I_{u2} 。

测量过程如下：

- 将修改测试天线放置于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,使修改测试天线电气中心与应答器电气中心对齐;检查参考环的 X 、 Y 、 Z 轴与定位系统的 X 、 Y 、 Z 轴对齐;激励天线放置于相对应答器 $[X=440, Y=220, Z=0]$ 位置,在整个测试过程中该位置固定不变;
- 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz的连续波;

- c) 调整信号发生器幅度,使应答器发出的等效 4.2 MHz 环电流接近 I_{w2} ,实现方法为:调整信号发生器幅度,直到功率计 3 读数 P_{M3} 等于校准过程(见 D.1.2.2)在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置测得的 P_{42RL} 。记录功率计 2 的读数,记做 P_{CS} ;
- d) 记录功率计 2(记做 P_{M2})、功率计 3(记做 P_{M3}) 读数;
- e) 使用 P_{M2} 与步骤 c) 中测得 P_{CS} 的差值补偿 P_{M3} 读数,按公式(D.2)记补偿后的值为 P_{42BA} (单位 dBm);

$$P_{42BA} = P_{M3} + (P_{CS} - P_{M2}) \dots\dots\dots (D.2)$$

- f) 按公式(D.3)计算测量结果 P_{42BA} 与校准结果 P_{42RL} (见 D.1.2.2) 的差,记为 P_{42DIFF} ;

$$P_{42DIFF} = P_{42BA} - P_{42RL} \dots\dots\dots (D.3)$$

- g) 对 C.1 定义的每个几何位置重复步骤 d)、e)、f)。测试过程中激励天线与应答器相对位置固定不变。

D.1.4 作用区应答器上行链路磁场一致性评估

测试结果(P_{42DIFF})应与参考磁场比较,应满足“在作用区,应答器发送的上行链路 FSK 磁场与参考磁场差值应在 ± 1.5 dB 内”的要求。

P_{42DIFF} 体现参考环与应答器的绝对差值,需求描述的是相对一致性,因此,测试结果与需求的比较应是相对的。

当应答器发送的场强满足公式(D.4)时,同样满足上行链路磁场一致性要求。

$$(P_{42DIFFMAX} - P_{42DIFFMIN}) < 3 \text{ dB} \dots\dots\dots (D.4)$$

D.1.5 旁瓣区 4.2 MHz 应答器环电流校准

使用与 D.1.2.1 相同的校准环境,除几何位置外校准过程与 D.1.2.2 相同,采用 C.2 所列几何测试点进行校准。

D.1.6 旁瓣区应答器上行链路参考磁场

TB/T 3485—2017 中定义了上行链路在旁瓣区的输出信号,校准过程(见 D.1.5)测量了参考环的输出信号,得到一组 P_{42RL} 值,使用这些测试结果形成旁瓣区参考磁场,参考磁场给出了应答器在旁瓣区输出场强的限制。在 TB/T 3485—2017 中规定了旁瓣区应答器输出场强与参考磁场允许的偏差为 +5 dB 到 $-\infty$,因此,应答器给出的测试结果应小于参考磁场增加 5 dB 后的值,此外,应将参考环的输出沿着 X 轴与 Y 轴平移 +5 cm 和 -5 cm 以形成参考磁场,图 D.3 是沿一个坐标轴方向的参考磁场,应在所有 4 个坐标轴方向(X 正、Y 正、X 负、Y 负)均绘制类似曲线。

参考磁场是由下述几项内容的最高值构成的曲线:

- R_0 (在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置的 P_{42RL} 值)减 35 dB;
- 参考环输出;
- 参考环平移 -5 cm 的输出;
- 参考环平移 +5 cm 的输出。

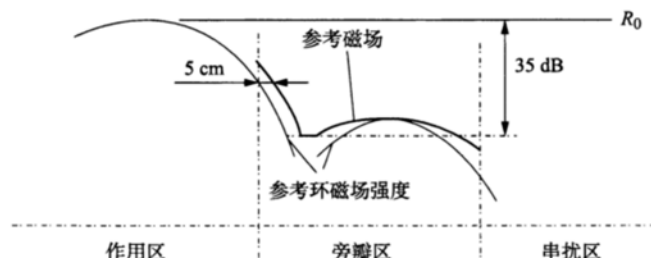


图 D.3 旁瓣区上行链路参考场

旁瓣区被评估的坐标范围如下:

- $X = 250 \sim 1\,300, Y = 0, Z = 220;$
- $X = -250 \sim -1\,300, Y = 0, Z = 220;$
- $X = 0, Y = 200 \sim 1\,400, Z = 220;$
- $X = 0, Y = -200 \sim -1\,400, Z = 220.$

D.1.7 旁瓣区应答器上行链路磁场一致性测量

测量环境与 D. 1. 3. 1 相同,除几何位置外,测试过程与 D. 1. 3. 2 相同,且不需计算 P_{42RL} 与 P_{42BA} 之间的差值,几何测量位置见 C. 2,但不包括以下各点: $[X = 200, Y = 0, Z = 220]$ 、 $[X = -200, Y = 0, Z = 220]$ 、 $[X = 0, Y = 150, Z = 220]$ 、 $[X = 0, Y = -150, Z = 220]$ 。

在每个坐标轴方向绘制 P_{42RA} 关于位置的函数曲线。

D. 1.8 旁瓣区应答器上行链路磁场一致性评估

应答器上行链路磁场测量结果应与参考磁场相比较,允许偏差范围为应答器响应应小于参考磁场加 5 dB,如图 D.4 所示。

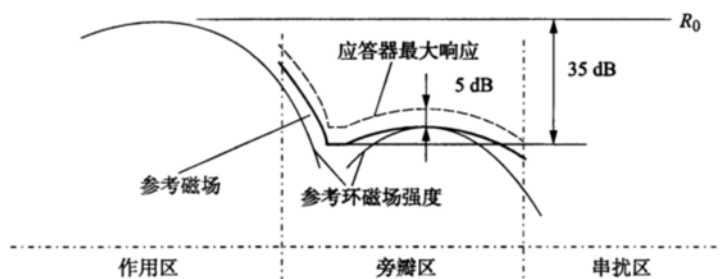


图 D.4 旁瓣区内应答器最大响应(4.2 MHz)

D.1.9 串扰区 4.2 MHz 应答器环电流校准

D. 1.9.1 校准设备连接

宜按照图 D.5 进行校准设备连接,由于串扰区内应答器上行链路场强非常弱,宜采用标准尺寸参考环作为场强接收,功率计 2 应能准确测量 -75 dBm 及以上信号,可使用测量带宽为 1.2 MHz 的窄带宽测量设备代替。

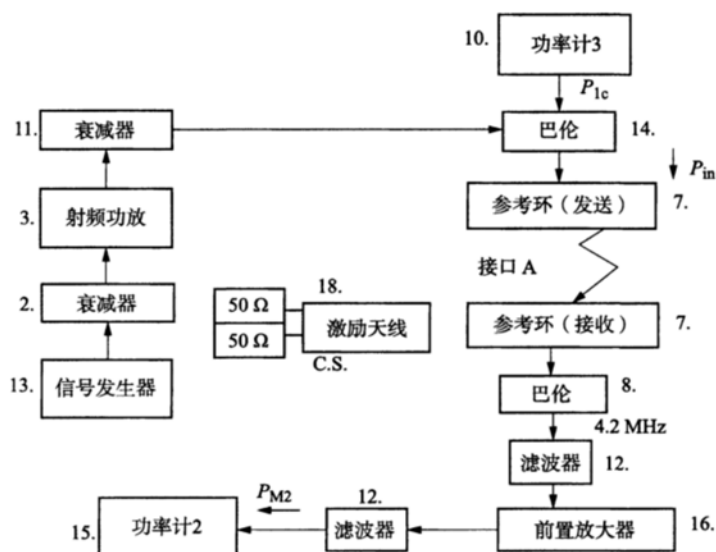


图 D.5 串扰区上行链路磁场一致性校准连接

D. 1.9.2 校准过程

对 C.3 中规定的每个测试位置给出一个 P_{42RL} 参考值,与对应位置的应答器测试结果 P_{42BA} 进行比较。参考值 P_{42RL} 反映了参考环(接收)的磁通量,由功率计 2(P_{M2})测量,补偿后记为 P_{42RL} ,该补偿过程同时考虑了使用测试天线和参考环作为接收设备时,接收结果间的相互关系。通过参考环(接收)的电流由功率计 3(P_{Ic})监督。校准过程中,使参考环(发送)中通过的环电流接近 I_{u2}/B 。

参考环(接收)的长边与 X 轴平行。激励天线放置于相对参考环(发送) [$X = 440, Y = 220, Z = 0$] 位置。

校准过程如下:

- 将参考环(接收)放置于相对参考环(发送) [$X = 1\ 000, Y = 0, Z = 220$] 位置,该位置的测量值在旁瓣区校准过程中已被测知,本步骤旨在获得参考环(接收)测试数据与测试天线测试数据之间的对应关系。参考环(接收)的电气中心与参考环(发送)的电气中心对齐,参考环(发送)的 X, Y, Z 轴与定位系统的 X, Y, Z 轴对齐;
- 设置信号发生器产生携带类型 1 报文的 FSK 信号;
- 调节信号发生器的幅度,使参考环(发送)通过的电流近似达到 I_{u2}/B 。电流感应巴伦校准和补偿参见 J.5。记录功率计 2 的读数,记做 P_{SB} 。按公式 (D.5) 计算 PSB 与旁瓣区校准(见 D.1.5)中 [$X = 1\ 000, Y = 0, Z = 220$] 位置测得的 P_{42RL} 的差,记做 P_{OFFSET} ;

$$P_{OFFSET} = P_{SB} - P_{42RL} \dots\dots\dots (D.5)$$

- 记录功率计 2 读数,记做 P_{M2} ;
- 使用步骤 c) 中得到的偏移量 P_{OFFSET} 补偿 P_{M2} 的读数,按公式 (D.6) 记补偿后的值为 P_{42RL} (单位 dBm);

$$P_{42RL} = P_{M2} - P_{OFFSET} \dots\dots\dots (D.6)$$

- 对 C.3 中定义的每个几何位置重复步骤 d)、e);
- 把参考环(接收)放置于相对参考环(发送) [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 的位置,记录功率计 2 的读数,记做 P_{RLPREF} ,该值将用于后续应答器测量过程中。

D. 1.10 串扰区上行链路参考磁场

TB/T 3485—2017 中定义了上行链路在串扰区的输出信号,校准过程(见 D.1.9)测量了参考环的输出信号,得到一组 P_{42RL} 值,用于形成串扰区参考磁场,该参考磁场作为应答器在串扰区输出场强的限制。在 TB/T 3485—2017 中规定了串扰区应答器输出场强与参考磁场允许的偏差为 +5 dB 到 $-\infty$,因此,应答器给出的测试结果应小于参考磁场增加 5 dB 后的值。图 D.6 是沿一个坐标轴方向的参考磁场,应在所有 4 个坐标轴方向(X 正、 Y 正、 X 负、 Y 负)均绘制类似曲线。

参考磁场是由下述几项内容的最高值所构成的曲线:

- R_0 (在 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置的 P_{42RL} 值)减 60 dB;
- 参考环输出(D.1.9 测得)。

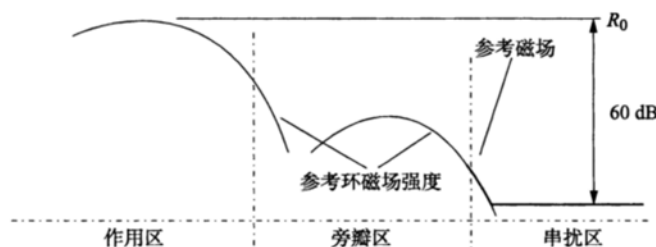


图 D.6 串扰区上行链路参考场

串扰区被评估的坐标范围如下:

- a) $X = 1\ 300 \sim 3\ 000, Y = 0, Z = 220$;
- b) $X = -1\ 300 \sim -3\ 000, Y = 0, Z = 220$;
- c) $X = 0, Y = 1\ 400 \sim 3\ 000, Z = 220$;
- d) $X = 0, Y = -1\ 400 \sim -3\ 000, Z = 220$ 。

D. 1. 11 串扰区应答器上行链路磁场一致性测量

D. 1. 11. 1 测试设备连接

宜按照图 D. 7 进行测试设备连接,功率计 2 应能准确测量 -75 dBm 及以上信号,可使用测量带宽为 1.2 MHz 的窄带宽测量设备代替,宜采用标准尺寸参考环作为场强接收。

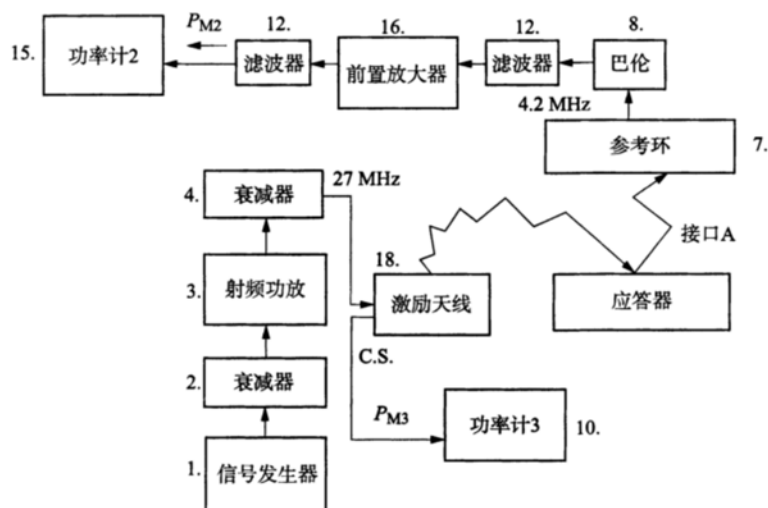


图 D. 7 串扰区上行链路磁场一致性测试连接

D. 1. 11. 2 测量过程

对 C. 3 中规定的每个测试位置给出一个 P_{42BA} 参考值,与对应位置的参考环校准结果 P_{42RL} 进行比较。测量值 P_{42BA} 反映了由标准尺寸参考环 (图 D. 7 编号 7) 接收到的 4.2 MHz 磁通量,由功率计 2 (P_{M2}) 测量,并使用测量过程中规定的方法进行补偿。通过激励天线提供 27 MHz 射频能量激活应答器,使应答器输出环电流接近 I_{u2} 。

测量过程如下:

- a) 将参考环放置于相对应答器 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 的位置,应答器在该位置的测量值已在旁瓣区测量过程 (见 D. 1. 9. 2) 中被测知,该值用于调整应答器等效环电流。参考环的电气中心与应答器的电气中心对齐,应答器的 X, Y, Z 轴与定位系统的 X, Y, Z 轴对齐,激励天线置于相对应答器 [$X = 440, Y = 220, Z = 0$] 的位置,在测试中该位置保持不变。
- b) 设置信号发生器产生 27.095 MHz 连续波。
- c) 调整信号发生器幅度,使应答器发出的等效 4.2 MHz 环电流接近 I_{u2} ,实现方法为:调整信号发生器幅度,直到功率计 2 读数 P_{M2} 等于校准过程 (见 D. 1. 9. 2) 在 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置测得的 P_{RLPREF} 。
- d) 将参考环放置在 C. 3 中定义的第一个测试位置。
- e) 记录功率计 2 的读数,记做 P_{M2} 。
- f) 使用校准中得到的偏移量按公式 (D. 7) 补偿 P_{M3} 的读数,并记做 P_{42BA} (单位 dBm)。

$$P_{42BA} = P_{M2} - P_{OFFSET} \dots\dots\dots (D. 7)$$

- g) 对 C. 3 中定义的每个 [X, Y, Z] 位置都重复步骤 e)、f),测试过程中激励天线与应答器相对位置固定不变。

D. 1. 12 串扰区应答器上行链路磁场一致性评估

应答器上行链路磁场测量结果与参考磁场相比较,允许偏差范围为应答器响应应小于参考磁场加 5 dB,如图 D. 8 所示。

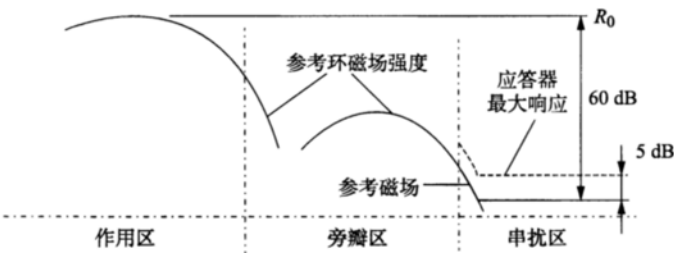


图 D. 8 串扰区内应答器最大响应(4.2 MHz)

D. 2 射频能量磁场一致性

D. 2. 1 概述

测试过程包括下列两个步骤：

- a) 校准 27 MHz 射频能量磁通量 Φ ；
- b) 应答器磁场一致性测量。

校准和测试使用附录 B. 2 定义的类型 1 报文,应答器与参考环应使用相同的报文。通常,测试和校准有源应答器时使用有源应答器控制接口传输报文,但在自由空间中测试有源应答器 I/O 特性时(见 D. 3),测试有源应答器控制接口传输的报文及应答器内部默认报文两种情况。

应答器磁场一致性测量仅在自由空间条件下进行。

D. 2. 2 作用区 27 MHz 射频能量磁通量校准

D. 2. 2. 1 校准设备连接

宜按照图 D. 9 进行校准设备连接。

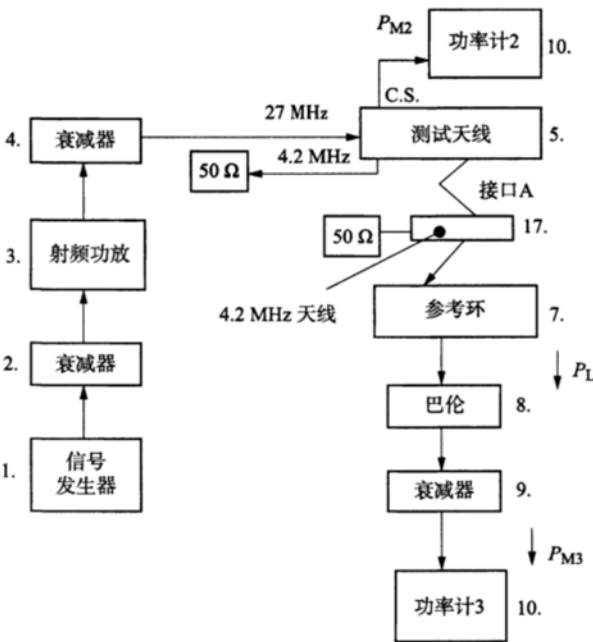


图 D. 9 27 MHz 射频能量磁通量校准测试连接

D. 2. 2. 2 校准过程

D. 2. 2. 2. 1 校准环境

除自由空间外,还应在其他测试条件下的 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置进行本项校准,且在校准连接图中去除 4.2 MHz 天线,这些校准结果还用于 D. 3 中的相关测试。校准时采用以下杂物及金属物测试环境(详细描述见 E. 5):

- a) 杂物环境:
 - 1) 盐水,杂物等级(A或B)由制造商给定;
 - 2) 清水,杂物等级(A或B)由制造商给定;
 - 3) 铁矿石(磁铁矿),杂物等级(A或B)由制造商给定。
- b) 金属物:
 - 1) 应答器下方金属平面,类型 1;
 - 2) 钢枕(可选);
 - 3) 其他枕(安装架)。

D. 2. 2. 2. 2 校准步骤

对 C. 1 中规定的每个测试位置均给出一个 P_{27RL} 参考值,与对应位置的应答器测试结果 P_{27BA} 进行比较。参考值 P_{27RL} 与发送环电流的平方成正比,该环电流能够使通过参考区域的磁通量为 Φ_{d1} 。发送环电流由功率计 2(P_{M2})测量,补偿后记为 P_{27RL} 。

校准步骤如下:

- a) 把标准测试天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,标准测试天线的电气中心与参考环的电气中心对齐,检查参考环的 X 、 Y 、 Z 轴与定位系统的 X 、 Y 、 Z 轴对齐。将 4.2 MHz 天线放置在相对于参考环 $[X=0, Y=0, Z=100]$ 位置,该位置在测试过程中固定不变;
- b) 当通过参考环的磁通量为 Φ_{d1} 时,按公式 (D. 8) 计算参考环上对应的功率 P_L 值;按公式 (D. 9) 测量衰减值并计算 P_{M3} (单位为 dBm),记为 P_{M3REF} ;

$$P_L = \frac{(2\pi f \Phi_{d1})^2}{50(150 + Z_{loop}/50)^2 B^2} \dots\dots\dots (D. 8)$$

式中:

- f ——频率为 27.095 MHz;
- Z_{loop} ——无天线时的参考环实际阻抗 ($R_{loop} + jX_{loop} \Omega$);
- P_L ——测量得到的参考环输出功率,单位为瓦特(W);
- B ——参考环的匹配传输比。

$$P_{M3} = 10 \lg(1000 \times P_L) - A \dots\dots\dots (D. 9)$$

式中:

A ——参考环巴伦(图 D. 9 编号 8)、衰减器(图 D. 9 编号 9)及从参考环到功率计 3 探头之间电缆上的总衰减,单位为 dBm。

- c) 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波;
- d) 调整标准测试天线输入功率,使通过参考环的磁通量为 Φ_{d1} ,记录功率计 3 读数为 P_{M3} ;
- e) 记录功率计 2 读数为 P_{M2} ;
- f) 根据 P_{M3} 的读数和步骤 b) 中计算得到的 P_{M3REF} 的差按公式 (D. 10) 补偿 P_{M2} 的读数,记新值为 P_{27RL} (单位为 dBm);

$$P_{27RL} = P_{M2} + (P_{M3REF} - P_{M3}) \dots\dots\dots (D. 10)$$

- g) 按 C. 1 定义的所有位置重复步骤 d)、e)、f),激励天线相对应答器位置固定不变;
- h) 对规定的杂物及金属物环境,在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置重复步骤 d)、e)、f)。

注:在步骤 b) 中的计算,假设 Z_{loop} 相对 50 Ω 很小, $\Phi_{d1} = 7.7 \text{ nWb}$,衰减值等于 20 dB,则对于大尺寸参考环, P_{M3} 等于

-4.6 dBm。而对于标准尺寸参考环, $\Phi_{d1} = 4.9 \text{ nWb}$ 时的 P_{M3} 等于 -8.6 dBm。步骤 f) 进行补偿的原因是不同位置间 P_{27RL} 需要较高相对准确度, 本过程补偿了调整信号发生器时带来的误差。

D. 2. 3 作用区应答器射频能量磁场一致性测量

D. 2. 3. 1 测量设备连接

宜按照图 D. 10 进行测量设备连接。

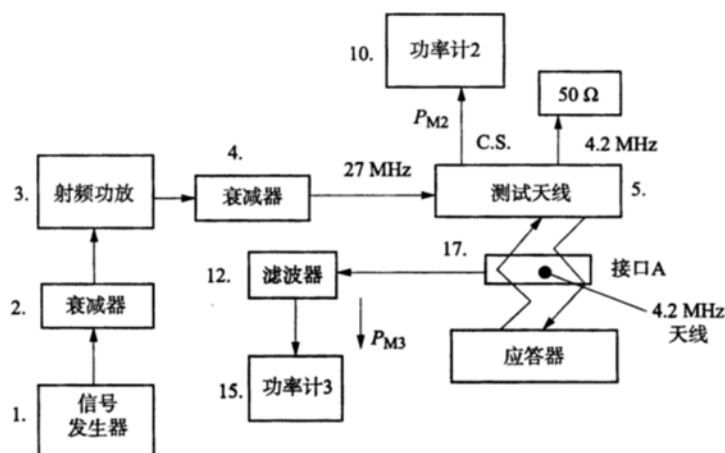


图 D. 10 射频能量磁场一致性测量连接

D. 2. 3. 2 测量过程

对 C. 1 中规定的每个测试位置给出一个 P_{27BA} 值, 与对应位置的射频能量磁场一致性校准结果 P_{27RL} 进行比较。参考值 P_{27BA} 与发送环电流的平方成正比, 该环电流能够使通过应答器的磁通量为 Φ_{d1} 。发送环电流由功率计 2 (P_{M2}) 测量, 补偿后记为 P_{27BA} 。

为判定应答器是否接收到了 Φ_{d1} 的磁通量, 采用一个固定的 4.2 MHz 天线测量应答器响应, 在第一个测量位置, 标准测试天线环电流与校准时在参考区域通过 Φ_{d1} 磁通量时相同, 并使用 4.2 MHz 天线测量应答器响应, 在之后的每个测量位置, 调整标准测试天线 27 MHz 功率, 使 4.2 MHz 天线收到的应答器响应与第一个位置相同。

允许修改 Φ_{d1} 取值, 以使应答器工作于线性区 (至少 $\pm 1.5 \text{ dB}$ 宽)。当应答器不存在上述区域时, 可为每个测试位置分别选取一个更小的区域。

测量过程如下:

- 把标准测试天线放置于相对应答器 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置, 使标准测试天线的电气中心与应答器的电气中心对齐, 检查应答器的 X, Y, Z 轴与定位系统的 X, Y, Z 轴对齐。将 4.2 MHz 天线放置在相对于应答器 [$X = 0, Y = 0, Z = 100$] 位置, 该位置在测试过程中固定不变。
- 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波。
- 按以下过程确认是否存在磁滞回现象: 从 0 开始提升信号发生器幅度, 直到功率计 2 读数达到校准过程 (见 D. 2. 2. 2) 中 [$X = 0, Y = 0, Z = 460$] 位置 P_{27RL} 取值; 记录功率计 3 读数; 继续提升信号发生器幅度, 使功率计 2 读数增加 3 dB 以上; 减少信号发生器幅度, 使功率计 3 读数与提升信号发生器幅度前相同。如果存在磁滞回现象, 以下过程中对每个新测试位置的功率调整应从 0 开始, 否则将给测试精度加入不确定性。
- 调整测试天线的输入功率, 使通过应答器的磁通量达到给定值, 应答器在该磁通量附近范围内工作于线性区。可通过调整信号发生器幅度, 使功率计 2 读数等于校准过程中 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置 P_{27RL} 测量值; 记录功率计 3 读数为 P_{42} 。
- 调整标准测试天线的输入功率, 使功率计 3 读数等于 P_{42} 。
- 记录功率计 2、3 读数分别为 P_{M2} 、 P_{M3} ; 使用 P_{M3} 的读数和步骤 d) 中记录的功率值 P_{42} 的差值按

公式(D.11)对 P_{M2} 的读数进行补偿,记补偿后的值为 P_{27BA} (单位为 dBm)。

$$P_{27BA} = P_{M2} + (P_{42} - P_{M3}) \quad \dots\dots\dots (D.11)$$

g) 按公式(D.12)计算 P_{27BA} 与校准(见 D.2.2.2)结果 P_{27RL} 的差,记做 P_{27DIFF} 。

$$P_{27DIFF} = P_{27BA} - P_{27RL} \quad \dots\dots\dots (D.12)$$

h) 在 C.1 定义的每个位置重复步骤 e)、f)、g), 4.2 MHz 天线相对应答器位置固定不变。

D.2.4 作用区应答器射频能量磁场一致性评估

测试结果(P_{27DIFF})应与参考磁场比较,在作用区,应答器接收的射频能量磁场与参考磁场差值应在 ± 1.5 dB 内。

P_{27DIFF} 是参考环与应答器绝对差值,需求描述的是相对一致性,因此,测试结果与需求的比较应是相对的。

当应答器接收的场强满足公式(D.13)时,同样满足射频能量磁场一致性要求。

$$P_{27DIFFMAX} - P_{27DIFFMIN} < 3 \text{ dB} \quad \dots\dots\dots (D.13)$$

D.2.5 旁瓣区 27 MHz 射频能量磁通量校准

使用与 D.2.2.1 相同的校准环境,除校准几何位置外,校准过程与 D.2.2.2 相同,校准过程采用 C.2 所列测试位置。

在主瓣旁瓣间磁场凹口区域以及旁瓣区较远处应限制最大的射频能量信号电平,限制值为 R_0 。取值增加 35 dB (见图 D.11)。采用 J.3 给出的标准测试天线时,允许标准测试天线的最大输入功率使电流传感器输出为 15 dBm。

D.2.6 旁瓣区射频能量参考磁场

TB/T 3485—2017 中规定射频能量信号在旁瓣区的输入信号与上行链路信号有相同的容差,该输入信号的响应由测试天线在参考环/应答器产生 Φ_{d1} 磁通所需的电流反映。校准过程(见 D.2.5)测量了旁瓣区该电流值,其结果是一组 P_{27RL} 值,应使用这些测试结果形成旁瓣区参考磁场。参考磁场给出了旁瓣区应答器对射频能量磁通量响应的限制。在 TB/T 3485—2017 中规定了旁瓣区应答器与参考磁场允许的偏差为 -5 dB 到 $+\infty$,因此,应答器给出的测试结果应高于参考磁场减少 5 dB 后的值,并且应将参考环的输出沿着 X 轴、Y 轴、平移 +5 cm 和 -5 cm 以形成参考磁场。图 D.11 是沿一个坐标轴方向的参考磁场,应在所有 4 个坐标轴方向(X 正、Y 正、X 负、Y 负)均绘制类似曲线。

参考磁场是由下述几项的最低值构成的曲线:

- R_0 (在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置的 P_{27RL} 的值)加 35 dB;
- 参考环响应;
- 参考环平移 -5 cm 的响应;
- 参考环平移 $+5$ cm 的响应。

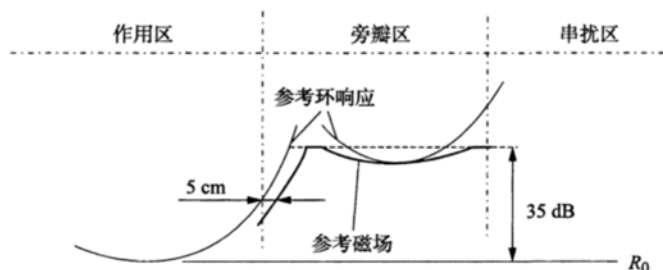


图 D.11 旁瓣区射频能量参考场

旁瓣区被评估的坐标范围如下:

- $X = 250 \sim 1\,300, Y = 0, Z = 220$;
- $X = -250 \sim -1\,300, Y = 0, Z = 220$;

- c) $X=0, Y=200 \sim 1\,400, Z=220$;
- d) $X=0, Y=-200 \sim -1\,400, Z=220$ 。

D.2.7 旁瓣区应答器射频能量磁场一致性测量

测量环境与 D.2.3.1 相同。除测量几何位置外,测试过程与 D.2.3.2 相同,且不需计算 P_{27RL} 与 P_{27BA} 之间的差值。测量集合为 C.2 所列几何位置中去除以下各点: $[X=200, Y=0, Z=220]$, $[X=-200, Y=0, Z=220]$, $[X=0, Y=150, Z=220]$, $[X=0, Y=-150, Z=220]$ 。

在每个坐标轴方向绘制 P_{27BA} 关于位置的函数曲线。

D.2.8 旁瓣区应答器射频能量磁场一致性评估

应答器在旁瓣区接收的射频能量磁场与相应参考磁场之间的偏差应在 $+5\text{ dB}$ 与 $-\infty$ 之间,由于采用测量应答器发出规定的上行链路信号强度时的天线功率,间接反映应答器接收的射频能量磁场,因此,预期结果为:测量结果与相应参考磁场之间的偏差应在 -5 dB 与 $+\infty$ 之间,如图 D.12 所示。

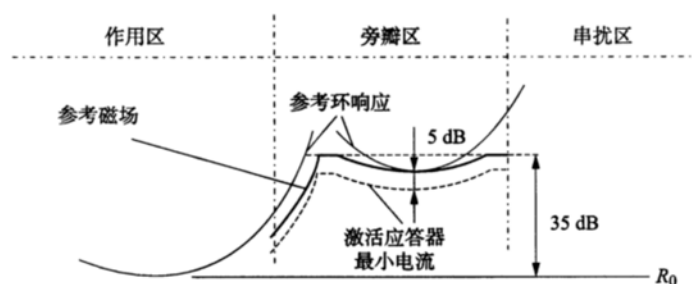


图 D.12 旁瓣区内激活应答器所需电流最小值(27 MHz)

D.3 I/O 特性

D.3.1 概述

应答器 I/O 特性测试时,应考虑磁滞特性。

I/O 特性测量在自由空间环境下,以及规定的盐水、清水、铁矿石、金属物(类型 1)环境下进行,具体要求见 E.5。

测试有源应答器时,应检查使用应答器控制接口发送报文以及发送内部存储的默认报文时,应答器表现出相同的特性。仅在自由空间环境下完成此检查,应答器控制接口特性见 D.7.3。在其他测试时,使用通过应答器控制接口发送报文(标称应答器控制接口环境)。

在进行 A 级水杂物测试时,应对测试天线进行足够的保护,以避免测试天线环浸入水中,这些保护措施不应改变测试天线的电气特性,参见 J.3.2。

D.3.2 应答器 4.2 MHz 输入输出特性校准

D.3.2.1 校准设备连接

宜按照图 D.13 进行校准设备连接,如果使用频谱分析仪代替功率计 2,则频谱分析仪的测量带宽应为 1.2 MHz。标准测试天线(图 D.13 编号 5)以及从标准测试天线到功率计 1(探头)之间的线缆应与校准过程(见 D.2.2)使用的相同。

D.3.2.2 校准过程

本校准过程将给出一个 P_{42RL} 参考值供 I/O 特性测量使用,该参考值反映了标准测试天线接收到的磁通量,由功率计 2(P_{M2})测量。校准过程使参考环通过 I_{u2}/B 的环电流,该电流由功率计 1(P_{M1})监督。

除自由空间环境外,校准过程也应在杂物和金属物环境下进行(与 D.2.2.2 相同)。

校准过程如下:

- a) 把标准测试天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,使标准测试天线电气中心与参考环电气中心对齐,检查参考环的 X 、 Y 、 Z 轴与定位系统的 X 、 Y 、 Z 轴对齐。

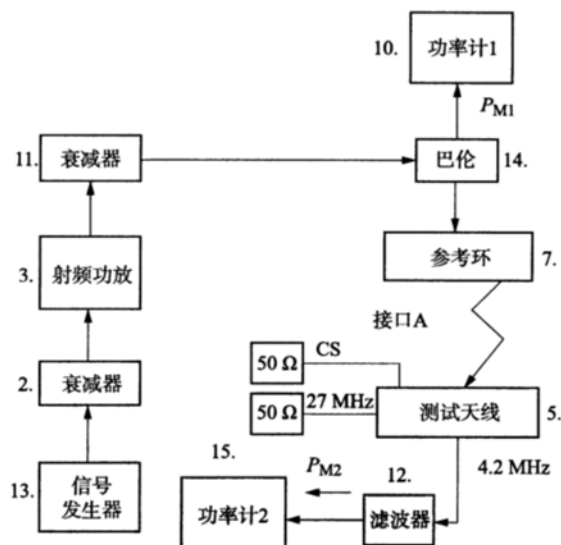


图 D.13 4.2 MHz 应答器环电流校准测试连接

- 设置信号发生器产生携带类型1报文的FSK信号。
- 计算通过参考环的电流约 I_{u2}/B 时的 P_{lc} 。电流感应巴伦校准与补偿参见 J.5。
- 调节信号发生器的幅度,使通过参考环的电流达到约 I_{u2}/B ,使用功率计1测量。
- 记录功率计1(记做 P_{M1})、功率计2(记做 P_{M2})读数。
- 使用 P_{M1} 的读数和步骤 c) 中计算功率值 P_{lc} 的差,按公式(D.14)对 P_{M2} 的读数进行补偿,并记做 P_{42RL} (单位为 dBm)。

$$P_{42RL} = P_{M2} + (P_{lc} - P_{M1}) \quad \text{..... (D.14)}$$

对规定的杂物覆盖条件,重复步骤 d)、e)、f)。

D.3.3 应答器输入输出特性测量

D.3.3.1 测量设备连接

宜按照图 D.14 进行测试设备连接,如果使用频谱分析仪代替功率计2,则频谱分析仪的测量带宽应为 1.2 MHz。滤波器(图 D.14 编号12)、标准测试天线(图 D.14 编号5)以及从标准测试天线到测量点(如功率计探头)的 4.2 MHz 电缆应与校准过程(见 D.3.2)使用的相同。

需确认上行链路信号测量时 27 MHz 信号得到足够的抑制,否则需加入额外的滤波器(例如多个滤波器级联)。

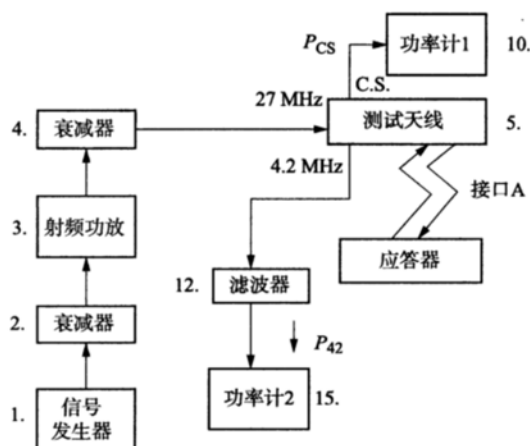


图 D.14 I/O 特性测量测试连接

D.3.3.2 测量过程

本测量结果为应答器响应曲线,该曲线应与 TB/T 3485—2017 中规定的需求进行比较。在磁通上升区间和下降区间都应进行应答器响应测量。使用一个标准测试天线产生磁通量,生成的磁通量从低于 Φ_{d1} 一直增长到 Φ_{d4} ,之后再减少到低于 Φ_{d1} 。天线发出的磁通量正比于天线发送环电流,该电流通过功率计 1 监督。应答器 4.2 MHz 响应通过测试天线由功率计 2 测量,测量结果通过计算转化为等效的参考环电流并画图。

除自由空间环境外,测试过程还在杂物和金属物环境下进行(与 D.2.2.2 相同)。

测量过程如下:

- 确定适合 I/O 特性测量的激活功率 P_{CS} ,标准测试天线应固定在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置;使用对应测试环境下在 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置时的测量值 P_{27RL} ,作为射频能量磁通量 Φ_{d1} 的参考值。表 D.1 给出本测量过程中用到的 27 MHz 磁通量 P_{CS} 的偏置。测量应从最低的磁通量开始,增加磁通量直到 Φ_{d4} ,然后减小磁通量到起始磁通量水平。本过程同时可检查应答器响应是否存在磁滞现象;
- 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波;
- 把标准测试天线放置于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置;
- 调整信号发生的幅度,使 P_{CS} 读数等于 P_{CS} 偏置与 P_{27RL} 的和,记录 P_{CS} 读数;
- 记录 4.2 MHz 功率为 P_{42} ;

表 D.1 27 MHz 磁通量 P_{CS} 偏置

单位为分贝

项目	磁通量												
			Φ_{d1}				Φ_{d2}						Φ_{d4}
P_{CS} 偏置	-3	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+9	+12	+18	+24

- 使用公式(D.15)、公式(D.16)计算磁通量 Φ (单位为 nWb) 和应答器环电流 I_{loop} (单位为 mA);

$$\Phi = 10^{((P_{CS} - P_{27RL}) + 20)} \times \Phi_{d1} \dots\dots\dots (D.15)$$

$$I_{loop} = 10^{((P_{42} - P_{42RL}) + 20)} \times I_{u2} \dots\dots\dots (D.16)$$

- 按照由低变高的方式,在所有磁通量水平下重复步骤 d)、e)、f);
- 按照由高变低的方式,在所有磁通量水平下重复步骤 d)、e)、f);
- 在磁通量上升区间及磁通量下降区间,将 I_{loop} 绘制成为 Φ 的函数。

在规定的杂物和金属环境下,重复测试步骤 a) 至 i)。

D.3.4 I/O 特性评估

TB/T 3485—2017 中规定,应答器响应(含测量误差)应在图 D.15 中的非阴影区域内,此外,作用区所有测试点应在考虑应答器实际一致性差异的情况下保证应答器响应在限制区内,这意味着应进一步限制 I/O 上限,该限制值为应答器在被测位置磁场一致性偏差,与最不利情况下各点磁场一致性偏差最大值之间的差值,同理,下限应根据应答器在被测位置磁场一致性偏差,与最不利情况下各点磁场一致性偏差最小值之间的差值进行限制。

根据公式(D.17)至公式(D.20)定义 A、B、C、D 四个值。

$$A = P_{42DIFFMAX} - P_{42DIFF} \dots\dots\dots (D.17)$$

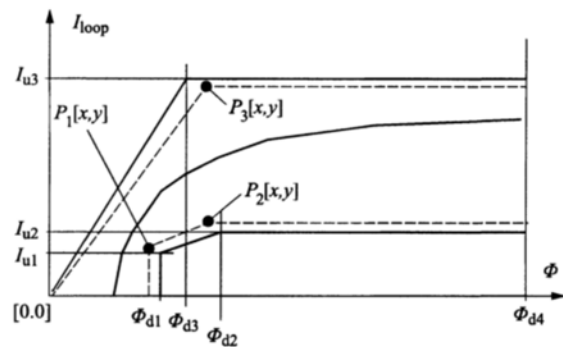
$$B = P_{42DIFF} - P_{42DIFFMIN} \dots\dots\dots (D.18)$$

$$C = P_{27DIFF} - P_{42DIFF} + \max(P_{42DIFFi} - P_{27DIFFi}) \dots\dots\dots (D.19)$$

$$D = P_{27DIFFMAX} - P_{27DIFF} \dots\dots\dots (D.20)$$

P_{27DIFF} 和 P_{42DIFF} 是在实际几何测试点 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 时应答器磁场一致性偏差。 $P_{27DIFFMAX}$, $P_{27DIFFMIN}$, $P_{42DIFFMAX}$ 和 $P_{42DIFFMIN}$ 是在射频能量磁场一致性测试、上行链路磁场一致性测试中评估得到的

最不利情况下应答器磁场一致性偏差。 $P_{42DIFFi}$ 与 $P_{27DIFFi}$ 之差是在每个几何测试点(第*i*点)上行链路
与射频能量磁场一致性偏差值。C值应评估在所有几何测试点中 $P_{42DIFFi}$ 与 $P_{27DIFFi}$ 之差的最大值。
A、B、C、D单位均为分贝(dB)。



说明: I_{loop} 为应答器产生的电流,表示上行链路磁场强度; Φ 为应答器感应的磁通量。

图 D. 15 应答器输入输出特性

P_1 、 P_2 、 P_3 的坐标分别为:

- a) $P_1[x,y] = [\Phi_{d1} 10^{-D/20}, I_{u1} 10^{B/20}]$;
- b) $P_2[x,y] = [\Phi_{d2} 10^{-D/20}, I_{u2} 10^{B/20}]$;
- c) $P_3[x,y] = [\Phi_{d3} 10^{C/20}, I_{u2} 10^{-A/20}]$ 。

TB/T 3485—2017 中规定,当应答器工作于饱和区时(例如当通过应答器参考区域的磁通量很高时),继续增加磁通量,磁通量每增加 1 dB,应答器响应下降不超过 0.5 dB。TB/T 3485—2017 规定了 I_{u1} 、 I_{u2} 、 I_{u3} 、 Φ_{d1} 、 Φ_{d2} 、 Φ_{d3} 、 Φ_{d4} 的值。

D. 4 电缆串扰免疫

D. 4. 1 概述

测试前进行下列两个校准步骤:

- a) 校准激励天线,以给出等于 Φ_{d4} 减 6 dB 的射频能量磁通量;
- b) 校准当应答器接收到该磁通量时,能够发出的 4.2 MHz 环电流。

D. 4. 2 27 MHz 射频能量磁通量校准

D. 4. 2. 1 校准设备连接

宜按照图 D. 16 进行校准设备连接。

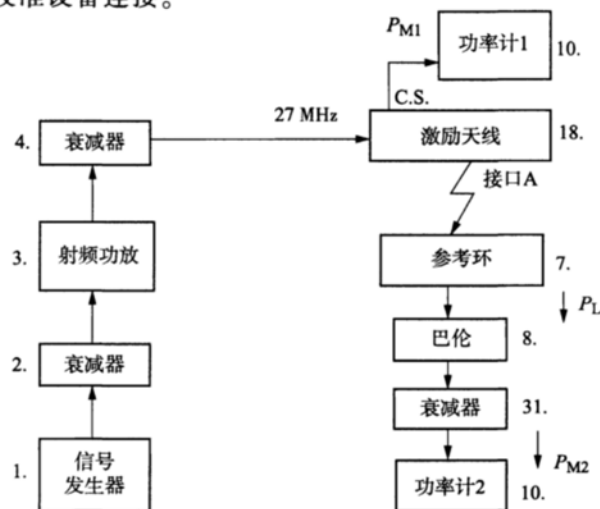


图 D. 16 27 MHz 射频能量磁通量校准连接

D. 4. 2. 2 校准过程

通过校准过程得到参考值 P_{27AA} ，用于确认在通过参考区域的射频能量磁通量为“ Φ_{d4} 减 6 dB”，并用该磁通量激活应答器。

校准过程如下：

- a) 把激励天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置；
- b) 计算通过参考环的磁通量为“ Φ_{d4} 减 6 dB”时，参考环上对应的功率 P_{M2} 值。“ Φ_{d4} ”对应的功率 (P_L) 以及“ Φ_{d4} 减 6 dB”对应的功率 (P_{M2}) 分别按公式 (D. 21)、公式 (D. 22) 计算；

$$P_L = \frac{(2\pi f \Phi_{d4})^2}{50(150 + Z_{loop} | / 50)^2 B^2} \dots\dots\dots (D. 21)$$

式中：

- f ——频率为 27.095 MHz；
- Z_{loop} ——参考环在没有天线时的实际阻抗 ($R_{loop} + jX_{loop} \Omega$)；
- P_L ——测量得到参考环输出的功率，单位为瓦特 (W)；
- B ——参考环的匹配传输比。

$$P_{M2} = 10 \lg(1\,000 \times P_L) - A - 6 \dots\dots\dots (D. 22)$$

式中：

- P_{M2} ——“ Φ_{d4} 减 6 dB”对应的功率，单位为分贝 (dB)；
- A ——参考环巴伦 (图 D. 16 编号 8)、衰减器 (图 D. 16 编号 31) 及从参考环到功率计 2 探头之间电缆上的总衰减。磁通量的绝对精度为 ± 1 dB，复现该磁通量时的相对精度为 ± 0.2 dB。

- c) 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波；
 - d) 调整激励天线输入功率，使通过参考环的磁通量为“ Φ_{d4} 减 6 dB”，记录功率计 1 读数为 P_{27AA} 。
- 注：对于步骤 b) 中的计算，假设 Z_{loop} 相对 50Ω 很小， $\Phi_{d4} = 200 \text{ nWb}$ ，衰减值等于 20 dB， $B = 1$ ，则对于大尺寸参考环， $P_{M2} = 17.6 \text{ dBm}$ 。对于标准尺寸参考环， $\Phi_{d4} = 130 \text{ nWb}$ ， $P_{M2} = 13.9 \text{ dBm}$ 。

D. 4. 3 应答器响应校准

D. 4. 3. 1 校准设备连接

宜按照图 D. 17、图 D. 18 进行校准设备连接。

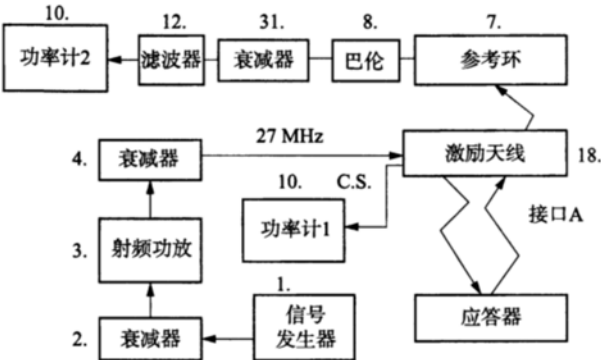


图 D. 17 4.2 MHz 上行链路电流校准连接图 1

D. 4. 3. 2 校准过程

通过校准过程得到应答器上行链路环电流的参考值，该电流在通过参考区域的射频能量磁通量为“ Φ_{d4} 减 6 dB”时测得，测量分两部分内容，首先，使用“ Φ_{d4} 减 6 dB”的磁通量激活应答器，使用参考环接收应答器发送的 4.2 MHz 上行链路信号强度，测试连接见图 D. 17；之后，使用另一个参考环代替应答器作为上行链路信号发送源，逐步增加发送参考环中的环电流，直到接收参考环收到的上行链路信号能量与应答器发送时相同，发送参考环中的环电流通过电流感应巴伦测量，测试连接见图 D. 18。

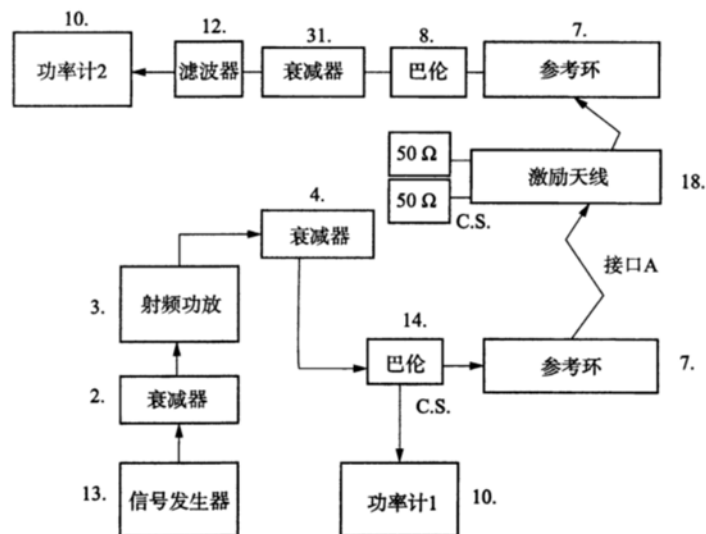


图 D. 18 4.2 MHz 上行链路电流校准连接图 2

具体校准过程如下：

- 把激励天线放置于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,参照图 D. 17 设置;
- 参考环放置于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=460]$ 位置;
- 设置信号发生器输出频率为 27.095 MHz 的连续波;
- 调整激励天线的输入功率,使通过应答器参考区的磁通达到“ Φ_{d4} 减 6 dB”,通过以下方法实现:逐步增加信号发生器幅度,直到功率计 1 读数为 D. 4. 2. 2 中得到的 P_{27AA} ;
- 记录功率计 2 的读数,记为 P_{42REF} ;
- 按图 D. 18 重新设置校准连接,使用另一个参考环代替应答器发送 4.2 MHz 信号;
- 设置信号发生器发送携带类型 1 报文的 4.2 MHz FSK 信号;
- 调整发送参考环的输入功率,使发送环电流与应答器等效环电流相同,通过功率计 2 读数等于 P_{42REF} 实现;
- 此时功率计 1 显示值与参考环的电流相对应,该环电流等于被测应答器在磁通“ Φ_{d4} 减 6 dB”时的 4.2 MHz 发送电流。电流探头校准和补偿参见 J. 5,并根据功率计 1 读数计算实际环电流,命名该电流为 I_{BAL} 。

D. 4. 4 串扰测量

D. 4. 4. 1 测量环境设置

宜按照图 D. 19 进行测试环境设置,图中距离 A、B 和 C 值与轨道方向相关,频谱分析仪应可测量 -85 dBm 及以上的信号。

用于模拟电缆的工装距离地面不应小于 200 mm。

D. 4. 4. 2 测量过程

应答器上行链路信号通过电缆发生串扰的场景是:轨道中的一个应答器被列车激活,同时另一个轨道中的列车驶过一根同时穿过两个轨道的线缆,如图 D. 20 所示。

TB/T 3485—2017 中规定了两种情况。第一种情况(本标准称为场景 1)是:电缆穿过未安装应答器的轨道区域位于轨面 493 mm 以下;第二种情况(本标准称为场景 2)是:电缆穿过未安装应答器的轨道区域位于轨面 93 mm ~ 493 mm。

TB/T 3485—2017 中规定场景 1 的最大 4.2 MHz 电流为 10 mA,场景 2 的最大 4.2 MHz 电流为 2 mA。

图 D. 19 中所示的 A、B、C 由应答器制造商给出,同时制造商应说明其应答器在何种安装场景(1 或

2)有效。距离 A 、 B 、 C 与轨道方向有关, A 为 X 方向, B 为 Y 方向, C 为 Z 方向。

单位为毫米

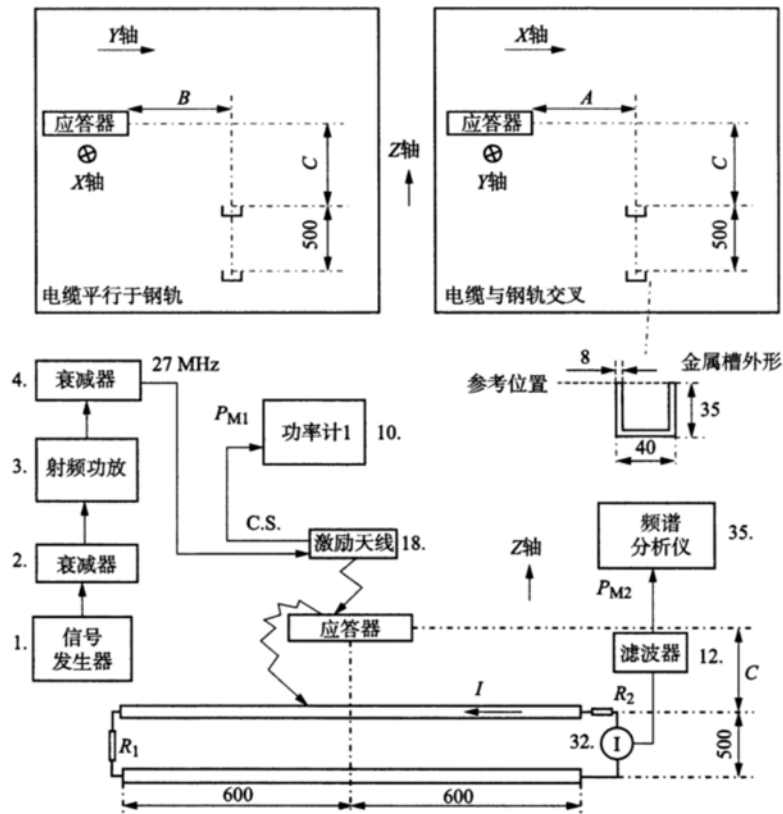


图 D. 19 应答器到电缆上行链路信号串扰测试连接

单位为毫米

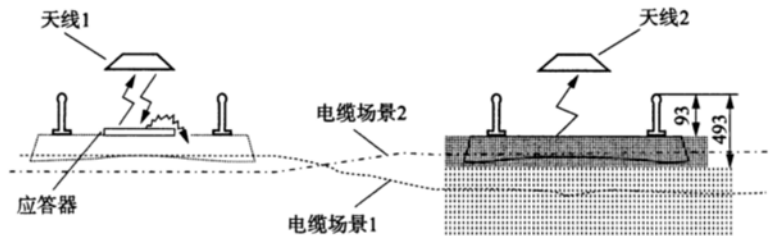


图 D. 20 串扰场景示意

测试时按图 D. 19 连接。电阻 R_1 和 R_2 为 $400\ \Omega$ 。在制造商未给定 A 、 B 、 C 的情况下,使用 A 、 B 、 C 为 $1\ 000\ \text{mm}$,场景 2 安装,电缆中允许的最大串扰电流为 $2\ \text{mA}$ 。本测试测量了电缆特性阻抗为 $400\ \Omega$ 时从应答器感应的电流。被测应答器可能为一个“强”应答器或一个“弱”应答器,因此,应补偿本测量结果以反映制造商所允许最强应答器的串扰情况。实际应用中的电缆阻抗可能与本测试不同,因此应补偿测量结果,以反映在最不利电缆条件下的串扰情况,该项补偿需考虑驻波等现象。

标准尺寸应答器可能采用纵向安装及横向安装,制造商应针对每种安装方式给出各自的 A 、 B 、 C 值。本测试过程应对两种安装方式均进行测试。

测量过程如下:

a) 电缆平行于钢轨的测量,步骤如下:

- 1) 将激励天线放置于相对应答器 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置,该位置在应答器测试过程中应保持不变。本项测试中,应答器与激励天线应同时移动,保持相对位置不变,且应使用

与校准过程(见 D. 4. 2. 2)相同的激励天线和应答器;

- 2) 按图 D. 19 中电缆平行于钢轨的情况放置应答器和激励天线,其中 B 、 C 为制造商指定的最小距离;
 - 3) 设置信号发生器发出 27.095 MHz 连续波;
 - 4) 调整激励天线的输入功率,使应答器收到“ ϕ_{d4} 减 6 dB”的磁通量。实现方法:逐步增加信号发生器功率,直到功率计 1 读数为 P_{27AA} (D. 4. 2. 2 校准结果);
 - 5) 记录频谱仪的读数为 P_{42IBC} ;
 - 6) 将应答器和激励天线以 20 mm 步长远离金属槽,直到 B 达到制造商指定的最小距离 + 500 mm,记录每个位置的频谱分析仪读数为 P_{42IBC} 。
- b) 电缆穿过钢轨的测量,步骤如下:
- 1) 将激励天线放置于相对应答器 [$X = 0, Y = 0, Z = 220$] 位置,该位置在应答器测试过程中保持不变。本项测试中,应答器与激励天线应同时移动,保持相对位置不变,且应使用与校准过程相同的激励天线和应答器;
 - 2) 按图 D. 19 中电缆与钢轨交叉情况放置应答器和激励天线,其中 A 、 C 为制造商指定的最小距离;
 - 3) 设置信号发生器发出 27.095 MHz 连续波;
 - 4) 调整激励天线的输入功率,使应答器收到“ ϕ_{d4} 减 6 dB”的磁通量。实现方法:逐步增加信号发生器功率,直到功率计 1 读数为 P_{27AA} (D. 4. 2. 2 校准结果);
 - 5) 记录频谱分析仪的读数为 P_{42IBC} ;
 - 6) 将应答器和激励天线以 20 mm 步长远离金属槽,直到 A 达到制造商指定的最小距离 + 500 mm,记录每个位置的频谱分析仪读数为 P_{42IBC} 。

本测试结果为一组 P_{42IBC} 值,计算其中的最大值并记为 I_{42BC} 。对于推荐使用的电流探头,1 mA 电流相当于在 50 Ω 负载中得到 1 mV 电压,因此可用公式(D. 23)计算串扰电流。

$$I_{42BC} = \sqrt{P_{42IBC} \times 50} \dots\dots\dots (D. 23)$$

式中:

P_{42BC} ——功率值,单位为瓦特(W);

I_{42BC} ——电流值,单位为安培(A)。

使用制造商给出的应答器最大环电流($I_{u\max}$)按公式(D. 24)补偿实测应答器($I_{u\max} \leq I_{u3}$),计算补偿后的值为 $I_{42BCCOMP}$ 。

$$I_{42BCCOMP} = \frac{I_{42BC} \times I_{u\max}}{I_{BAL}} \dots\dots\dots (D. 24)$$

式中:

$I_{u\max}$ ——制造商给出的应答器最大环电流;

I_{BAL} ——应答器响应校准过程(见 D. 4. 3. 2)中得到的实测应答器环电流。

为反映实际电缆上的串扰电流,应按公式(D. 25)使用最不利情况下电缆阻抗与测试电缆阻抗之间的差值补偿 $I_{42BCCOMP}$ 。

$$I_{42BCWORST} = \frac{I_{42BCCOMP} \times Z_{\text{setup}}}{Z_{\text{worst_case}}} \dots\dots\dots (D. 25)$$

式中:

$I_{42BCWORST}$ ——最不利情况下的串扰电流,应小于安装场景 1 或 2 中允许的电流值,场景 1 为 10 mA,场景 2 为 2 mA。

Z_{setup} ——测试阻抗,取值为 800 Ω ;

$Z_{\text{worst_case}}$ ——制造商根据安装条件给出的最不利情况下电缆阻抗。

$Z_{\text{worst_case}}$ 为虚拟阻抗,其中包含了电缆阻抗以及驻波、金属物等的影响,该值用于将测试过程中得到的感应电流转化为实际场景中的感应电流,因此 $Z_{\text{worst_case}}$ 取值取决于安装要求(取决于制造商),由制造商提供。

D. 4. 5 电缆串扰免疫评估

对于安装场景 1, $I_{42\text{BCWORST}}$ 应小于 10 mA。

对于安装场景 2, $I_{42\text{BCWORST}}$ 应小于 2 mA。

D. 5 应答器阻抗

D. 5. 1 概述

应答器阻抗测试步骤如下:

- a) 校准 27 MHz 射频能量磁通量 Φ ;
- b) 校准网络分析仪;
- c) 应答器阻抗测量。

校准 27 MHz 射频能量磁通量是为了标定通过应答器有效参考区域的磁通量达到特定值。

测试中不需确认应答器 4. 2 MHz 上行链路信号环电流,在阻抗测试前已经通过 I/O 特性测试。

阻抗测量时,应通过 27 MHz 射频能量磁通校准过程,将测量点定位于 $\Phi_{d4} \sim \Phi_{d4} - 3\text{dB}$ 范围内,见图 D. 21。

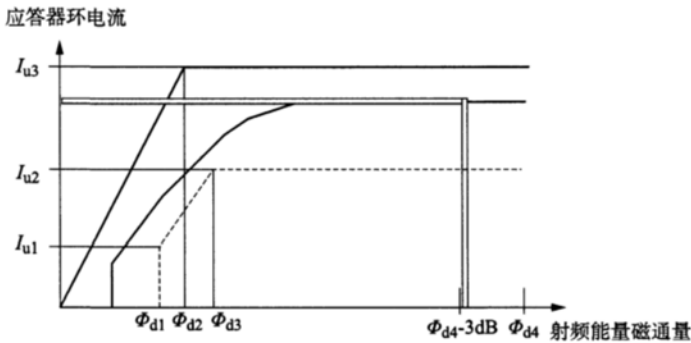


图 D. 21 应答器阻抗测试校准点

当应答器从天线单元收到 Φ_d 的磁通量时,在应答器接收线圈上产生感应电压。应答器利用该感应电压开始工作,在接收环中产生了电流 $I_{\text{reflected}}$,该电流可能会影响天线单元。上述交互过程体现应答器阻抗 $Z_{\text{reflected}}$ (感应电压 $\omega\Phi_d$ 除以电流 $I_{\text{reflected}}$)。

D. 5. 2 测试环境

本测试在实验室环境中进行,除测试所用到的磁场外,环境中不应出现其他磁场。测试过程中,参考环及应答器与其他金属物之间距离不小于 1 m。

校准和阻抗测量过程中,测试天线与参考环/应答器相对位置应为 $[X = 0, Y = 0, Z = 220]$ 。

定位系统在 X、Y、Z 方向的定位准确度应优于 2 mm,且干扰场分布。

D. 5. 3 27 MHz 射频能量磁通量校准

D. 5. 3. 1 校准设备连接

校准设备连接见 D. 2. 2. 1。

完成校准 27 MHz 磁通量后,应答器阻抗测量使用如图 D. 22 所示的连接,本校准过程中,应将图 D. 9 中用于产生 27 MHz 信号的信号发生器(编号 1)替换为网络分析仪(图 D. 22 编号 22)。

D. 5. 3. 2 校准过程

校准过程如下:

- a) 将标准测试天线放置于相对参考环 $[X = 0, Y = 0, Z = 220]$ 位置;

b) 使用公式(D.26)计算特定输出功率对应的校准时通过参考环的磁通量:

$$\Phi = \frac{B \cdot \sqrt{50P_L}}{2\pi f} \left(\frac{|50 + Z_{\text{loop}}|}{50} \right) \dots\dots\dots (\text{D.26})$$

式中:

f ——频率为 27.095 MHz;

Z_{loop} ——参考环在没有天线时的实际阻抗 ($R_{\text{loop}} + jX_{\text{loop}} \Omega$);

P_L —— P_{M3} 及衰减值之和。 P_{M3} 为功率计3读数。衰减值为参考环巴伦(图D.9编号8)、衰减器(图D.9编号9)及从参考环到功率计3探头之间电缆上的总衰减;

B ——参考环的匹配传输比;

c) 设置信号发生器产生 27.095 MHz 连续波;

d) 调整信号发生器输出功率,以达到所需的磁通水平。对于大尺寸参考环,功率计3测得的测试天线的输入功率应约为 +21 dBm,对于标准尺寸参考环为 +17.5 dBm。本测试中衰减器(图D.9编号9)应能承受 20 W 的功耗;

e) 记录功率计3的实际读数;

f) 记录功率计2的实际读数,在D.5.4阻抗测量过程中,由矢量网络分析仪提供 27 MHz 射频能量,应保持功率计2读数在阻抗测量过程中与此处相同。

注:对于步骤b)中的计算,假设 Z_{loop} 相比 50 Ω 很小, B 等于 1。那么对于大尺寸参考环, P_{M3} 应选择接近 +21 dBm,对应射频能量磁通量大约为 150 nWb。对于标准尺寸参考环,接近 +17.5 dBm 的 P_{M3} 对应射频能量磁通量大约为 100 nWb。如果上述假设不成立,那么应修正上述功率值。

D.5.4 应答器阻抗测量

D.5.4.1 测量设备连接

宜按照图D.22进行测量设备连接。

“参考负载”指网络分析仪单端口校准时常用的开路、短路和 50 Ω 校准负载,在测量应答器阻抗时,图D.22编号7被替换为应答器,连接参考环和参考负载时,其间不连接巴伦。

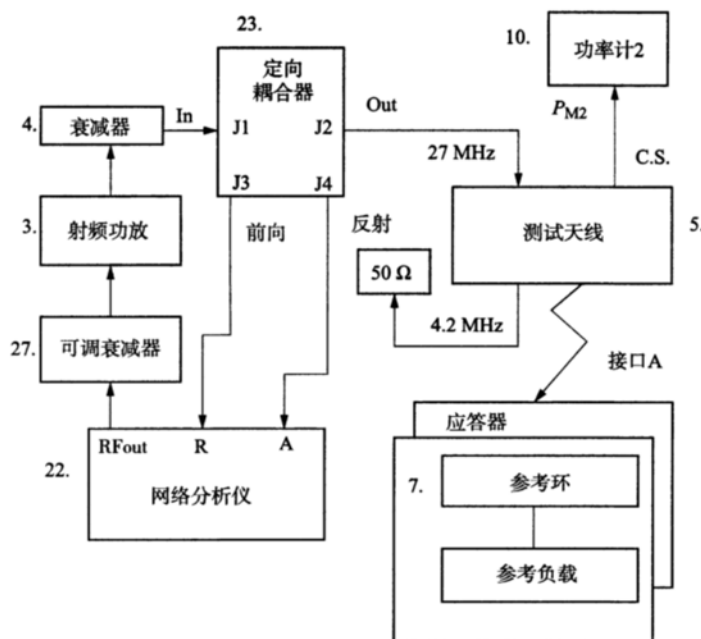


图 D.22 应答器阻抗测量测试连接

D.5.4.2 校准网络分析仪

使用网络分析仪(图 D.22 编号 22)测量测试天线的输入阻抗,应按如下步骤进行网络分析仪校准:

- 将标准测试天线定位于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置;
- 按照图 D.22 连接参考环;
- 打开标准测试天线功率输入,使用可调衰减器,调整功率使功率计 2 读数与校准过程(见 D.5.3)中的值相同;
- 将参考负载连接到参考环输出,进行全端口校准;
- 关闭功放;
- 断开参考环。

网络分析仪参数设置如下:

- 测量类型:S11(A/R);
- 格式:史密斯圆图;
- 扫描类型:功率扫描;
- 中心: X dBm(X 与磁通量相关);
- Span:0 dBm;
- 连续波:27.095 MHz。

应在参考环输出端口连接短路、开路、50 Ω 负载进行单端口校准,校准过程中可能会产生较大功率,应避免损坏参考负载,可在 50 Ω 负载前加入一个低驻波比(VSWR < 1.05)的功率衰减器,该衰减器仅在校准 50 Ω 参考负载时使用。

D.5.4.3 测量过程

应答器阻抗测量时,将图 D.22 中的应答器替换参考环(以及参考环负载),其他不变。

测量过程如下:

- 保持网络分析仪设置和校准与校准过程(见 D.5.4.2)的设置相同;
- 将测试天线定位于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置;
- 使用可调衰减器,调整标准测试天线功率使功率计 2 读数与校准过程(见 D.5.3)中的值相同;
- 使用网络分析仪测量并记录标准测试天线输入阻抗 Z_{in} ;
- 按公式(D.27)计算应答器阻抗最终结果:

$$Z_{balise} = Z_{in} + Z_{loop} \dots\dots\dots (D.27)$$

式中:

Z_{loop} ——参考环在自由空间中的阻抗。

D.5.5 应答器阻抗评估

当接收到磁通量为 TB/T 3485—2017 中 6.1.1.5 节定义的 Φ_{d4} 至 $\Phi_{d4} - 3$ dB 时,大尺寸应答器复阻抗 $Z_{reflected}$ 的绝对值应大于 60 Ω ,标准尺寸应答器复阻抗 $Z_{reflected}$ 的绝对值应大于 40 Ω 。

D.6 上行链路信号特性

D.6.1 概述

D.6.1.1 简介

本节规定了应答器上行链路 FSK 信号特性的测试方法,并同时给出了推荐的测试连接。

测试条件中包含多种 27 MHz 射频能量磁通量水平,测试前需校准射频能量磁通量。

D.6.1.2 上行链路 FSK 信号特性测试设备连接

宜按照图 D.23 进行测试设备连接,图中与应答器连接的参考信号发生器仅适用于有源应答器。

如收到的 4.2 MHz 信号过低以至于无法准确测量时,优选的补偿措施为将 4.2 MHz 天线放置在足

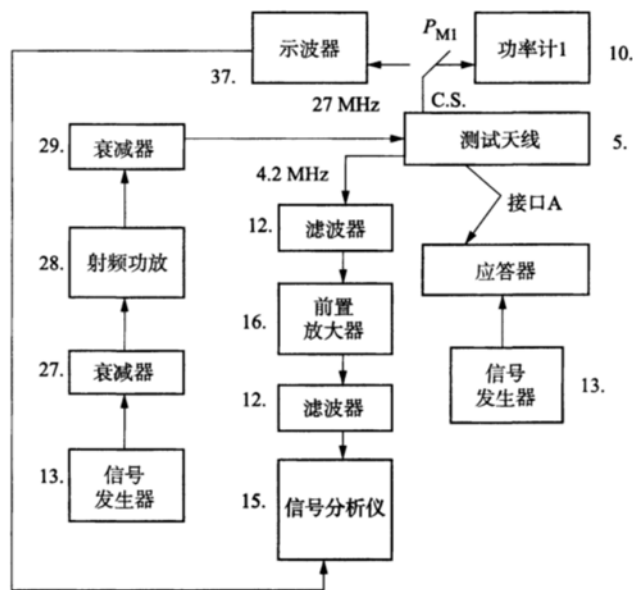


图 D. 23 上行链路 FSK 信号特性测试设备连接

够低的高度接收上行链路信号,校准过程遵循 D. 2. 2 要求。

D. 6. 2 标称测试条件

D. 6. 2. 1 金属物体杂物要求

无金属物、无杂物。

D. 6. 2. 2 测试距离

标准测试天线至应答器垂直距离为 $460\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ (标准测试天线环中心至应答器参考标记)。

D. 6. 2. 3 射频能量磁通量特性

射频能量信号是频率为 $27.095 \times (1 \pm 0.02\%) \text{ MHz}$ 的连续波。

对射频能量磁通量应进行调制以模拟列车通过,见图 D. 24。

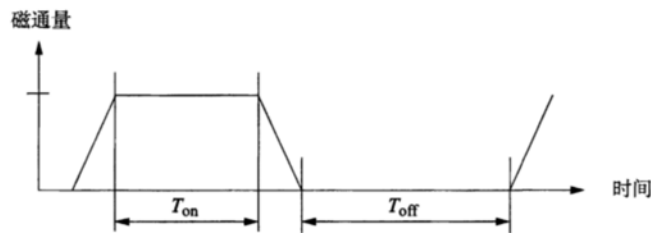


图 D. 24 过车通过模拟射频能量信号

针对标准尺寸参考环,上升沿和下降沿斜率应为 5 nWb/ms ,针对大尺寸参考环,上升和下降斜率应为 10 nWb/ms 。

此斜率仅代表典型测试案例,不隐含对车载设备的任何限制条件。

如无特别说明,“连续波”测量起始时间为下述两个时间点中靠后的时刻:当 27 MHz 射频能量磁通在上升沿达到 Φ_{dl} 后 $150\text{ }\mu\text{s}$ 时,或射频能量磁通达到给定的峰值时。

使用标准测试天线的电流探头输出,校准测试对象的触发电平。

信号的动态特性在标准测试天线的电流传感器输出端进行测量。

持续时间 T_{on} 应足够完成测量过程。

相邻两次激活周期间的关闭时间 T_{off} 应足够长以得到小于 1% 的占空比,该占空比应基于幅度为磁

通曲线峰值 50% 的点计算。
定义 3 个射频能量磁通量水平,见表 D. 2。

表 D. 2 测试磁通量级别

磁通量级别	磁通量值
1	$\Phi_{d1} + 0.8 \text{ dB} \pm 0.5 \text{ dB}$
2	$\Phi_{d2} \pm 1 \text{ dB}$
3	$\Phi_{d2} \pm 10 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$

D. 6. 2. 4 报文内容

使用 B. 2 中的类型 1 报文,341 位有效报文,包含 50% $\pm 2\%$ 的逻辑“1”。

D. 6. 2. 5 应答器控制接口特性

如果应答器由参考信号发生器控制,则应答器控制接口的信号应为其额定参数值(启用参考信号发生器)或为关闭参考信号发生器(在应答器控制接口无信号)。

如无特别说明,对于有源应答器,测试应在参考信号发生器启用和关闭两种情况下均进行。

D. 6. 3 特殊测试条件

D. 6. 3. 1 金属物

“应答器下部金属平面”及“应答器下部的钢枕”条件见 E. 5. 3. 3 及 E. 5. 3. 4,标准测试天线应工作于自由空间中。

D. 6. 3. 2 杂物

杂物测试工装设计与使用见 E. 5. 2. 1,“盐水”、“清水”及“铁矿石(磁铁)”条件见 E. 5. 2. 4. 1、E. 5. 2. 4. 2、E. 5. 2. 4. 3,标准测试天线应工作于自由空间。由应答器制造商给出应答器适用杂物等级 A 或 B。

D. 6. 3. 3 测试距离

见 D. 6. 2. 2。

D. 6. 3. 4 射频能量磁通量特性

见 D. 6. 2. 3。

D. 6. 3. 5 报文内容

B. 2 定义的 18 种不同特性的测试报文。

D. 6. 3. 6 应答器控制接口特性

应答器控制接口极限条件定义见 D. 7. 3。

有源应答器工作于两种状态:一种是启用参考信号发生器(提供有效的应答器控制接口信号),另一种为关闭参考信号发生器(在应答器控制接口处无信号)。两种状态下,应答器与参考信号发生器之间均保持物理连接。

如无特别说明,对于有源应答器测试,应在参考信号发生器启用和关闭两种情况下均进行。

D. 6. 4 27 MHz 射频能量磁通量校准

D. 6. 4. 1 校准设备连接

宜按照图 D. 25 进行校准设备连接。如收到的 4.2 MHz 信号过低以至于无法准确测量时,优选的补偿措施为将 4.2 MHz 天线放置在足够低的高度接收上行链路信号。

D. 6. 4. 2 校准过程

通过校准得到参考值 P_{27AA} ,当根据表 D. 2 定义的磁通量级别来激活应答器时,使用此参考值 P_{27AA} 。

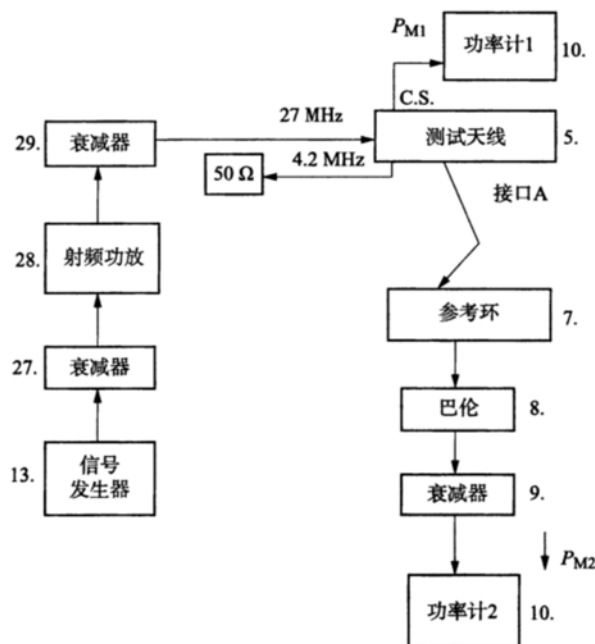


图 D. 25 校准 27 MHz 射频能量磁通量连接

校准过程如下：

- 将标准测试天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=460]$ 位置。
- 根据相关要求选取一种杂物条件(包括无杂物情况)。
- 按公式(D. 28)计算通过参考环的磁通量为 Φ_d (表 D. 2 中的某一磁通值)时参考环上对应的功率值 P_L ：

$$P_L = \frac{(2\pi f \Phi_d)^2}{50(150 + Z_{\text{loop}})^2 B^2} \dots\dots\dots (\text{D. 28})$$

式中：

- P_L ——测量得到参考环输出的功率,单位为瓦特(W)；
 f ——频率为 27.095 MHz；
 Z_{loop} ——参考环在没有天线时的实际阻抗($R_{\text{loop}} + jX_{\text{loop}} \Omega$)；
 B ——参考环的匹配传输比。

测量衰减值并按公式(D. 29)计算 P_{M2} ,单位为 dBm：

$$P_{M2} = 10 \lg(P_L \times 1\,000) - A \dots\dots\dots (\text{D. 29})$$

式中：

A ——参考环巴伦(图 D. 25 编号 8)、衰减器(图 D. 25 编号 9)及从参考环到功率计 2 探头之间电缆上的总衰减。

- 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波,校准过程不对该信号进行调幅。
- 调整标准测试天线输入功率,使通过参考环的磁通量为 Φ_d (通过观察功率计 2 的读数),记录功率计 1 读数为 P_{27AA} ,这为电气特性测试所需的特定磁通量水平提供参考。
- 对表 D. 2 中的所有磁通量级别都重复步骤 c)、d)、e)。
- 在每种相关的杂物情况下重复步骤 b)、c)、d)、e)、f)。

注：对于步骤 c)中的计算,假设 Z_{loop} 相对 50 Ω 很小, $\Phi_d = 200 \text{ nWb}$, $B = 1$,衰减值等于 20 dB,则对于大尺寸参考环, $P_{M2} = 23.6 \text{ dBm}$ 。对于标准尺寸参考环, $\Phi_d = 130 \text{ nWb}$, $P_{M2} = 19.9 \text{ dBm}$ 。

D.6.5 中心频率与频率偏移测试

测试连接见图 D.23, 测试矩阵见 D.6.13.2。

使用超过 1 ms 的数据帧进行载频幅度和相位的测量, 测量带宽应大于 2 MHz, 推荐应用 4 MHz 带宽。

测试过程如下:

- a) 在上述测试数据帧内, 评估上行链路信号的频率, 确定分别发送信号“0”(f_L)和“1”(f_H)的时间;
 - b) 应用一个 16 bit 宽的窗口, 设置于数据帧的前 16 bit;
 - c) 在窗口内, 找出每一比特时间内的平均频率;
 - d) 在窗口内, 找出“0”(f_L)的最大和最小平均频率, f_{Lmin} 和 f_{Lmax} , 同样方法找出“1”(f_H)的最大和最小平均频率, f_{Hmin} 和 f_{Hmax} ;
 - e) 使用 f_{Lmin} 、 f_{Lmax} 和 f_{Hmin} 、 f_{Hmax} 最不利情况组合, 按“ $(f_L + f_H)/2 = 4.234 \text{ MHz} \pm 175 \text{ kHz}$ ”和“ $(f_H - f_L)/2 = 282.24 \times (1 \pm 7\%) \text{ kHz}$ ”分别评估信号的“中心频率”和“频率偏移”, 即:
 - 1) $(f_{Lmax} + f_{Hmax})/2 < 4.234 \text{ MHz} + 175 \text{ kHz} = 4.409 \text{ MHz}$;
 - 2) $(f_{Lmin} + f_{Hmin})/2 > 4.234 \text{ MHz} - 175 \text{ kHz} = 4.059 \text{ MHz}$;
 - 3) $(f_{Hmax} - f_{Lmin})/2 < 282.24 \times (1 + 7\%) \text{ kHz} = 302.00 \text{ kHz}$;
 - 4) $(f_{Hmin} - f_{Lmax})/2 > 282.24 \times (1 - 7\%) \text{ kHz} = 262.48 \text{ kHz}$ 。
 - f) 在数据帧内将窗口前移 1 bit;
 - g) 重复步骤 c) 至步骤 f), 直到测试数据帧全部测试完成。
- 在位过渡(转换)前后, 忽略低于载频单周期(236 ns)的时间。

D.6.6 旁瓣后启动测试

测试连接见图 D.23, 测试矩阵见 D.6.13.3。

除额外生成一段 27 MHz 信号波形作为旁瓣外, 此项测试过程与 D.6.5 相同。测试所用磁通量时间曲线见图 D.26。

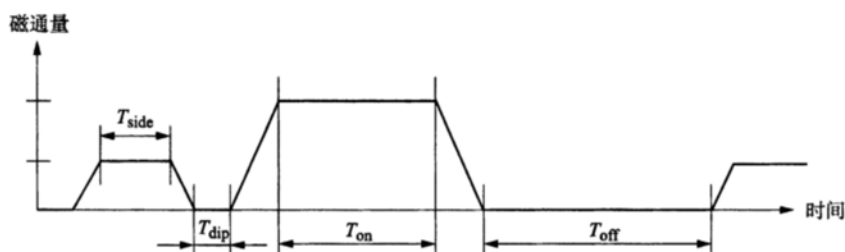


图 D.26 带旁瓣的模拟过车信号

旁瓣区磁通量应较作用区峰值磁通量低 17 dB。旁瓣区时间 $T_{side} = 1 \text{ ms}$, $T_{dip} = 25 \mu\text{s}$ 。起始和结束斜率应与作用区斜率相同。

D.6.7 平均数据速率测试

测试连接见图 D.23, 测试矩阵见 D.6.13.4。

分析仪应配置成以每符号 4 采样点分辨率解调 FSK 信号, 解码超过 1 500 个符号, 使用 4 MHz 带宽。

平均数据速率 f_{mean} 定义见公式(D.30)。

$$f_{mean} = \frac{1\,500}{T(\text{bit}_{1500}) - T(\text{bit}_0)} \dots\dots\dots (\text{D.30})$$

当测试码因连续“0”、“1”序列不能准确分辨“ bit_0 ”或“ bit_{1500} ”时, 应通过对测试数据帧中最近邻的“0”、“1”切换点进行线性插值, 计算得到所需的位转换时刻。

平均数据速率应为 $564.48 \times (1 \pm 2.5\%)$ kbit/s。

D. 6. 8 MTIE(最大时间间隔误差)测试

测试连接见图 D. 23,测试矩阵见 D. 6. 13. 5。

分析仪应配置成不少于测量 1 500 bit 载频幅度和相位,使用 4 MHz 带宽。

应评估测量数据帧内每一比特的实际信号时间,测量方法基于对上行链路信号的相位解调,该相位解调在 1 bit 窗口内对足够多的上行链路信号采样点进行评估,得到相位采样点的最佳线性拟合(线性回归),识别准确的比特过渡时刻。综合考虑数据速率和载频相位误差,评估整体时间间隔误差,校验是否符合 MTIE1 或 MTIE2 需求。比特过渡定义为:连续“1”和“0”(或“0”和“1”)的两个最佳拟合线的交接点。测试过程中出现许多连续的“1”或“0”时,把可辨别的比特过渡之间的距离分成适当数目的等长的单比特,整个时间间隔误差被分配到各比特中。

数据应符合 TB/T 3485—2017 中对 MTIE1 或 MTIE2 需求,应确认测试数据中所有可能的 1 000 bit 数据均满足 MTIE 要求,同时确认测试数据中所有可能的 1 500 bit 窗口,按公式(D. 30)计算得到满足要求的平均数据速率。

如果选择 MTIE2 需求,所涉及的平均数据速率应来源于进行比特计时的相同测量数据集合。

D. 6. 9 启动区幅度抖动测试

测试连接见图 D. 23,测试矩阵见 D. 6. 13. 6。

分析仪设置为测量载频幅度和相位,且测试数据能涵盖 27 MHz 信号整个上升过程,使用 4 MHz 带宽。

除使用矢量信号分析仪外,当能证明分析捕获数据所需的相关软件算法能给出相同的最终结果时,可直接取样和数字化,采样率不小于 100 MHz,幅度分辨率不小于 12 位。

测量数据中定义一个 $50 \mu\text{s} \sim 100 \mu\text{s}$ 宽的滑动窗,采用连续波射频能量时,窗口起始位置在磁通到达 Φ_{d1} 后 $150 \mu\text{s}$ 。

在滑动窗中心选取超过 $1.77 \mu\text{s}$ 宽度的区间评估平均(RMS)幅度值,幅度抖动定义为上述 RMS 值与整个滑动窗的平均幅度值(长窗口内解调出的正弦幅度的算术平均值或真有效值)之差。

在滑动窗的所有位置,幅度抖动应在 $+1.5 \text{ dB} \sim -2.0 \text{ dB}$ 范围内。

D. 6. 10 稳定区幅度抖动测试

测试连接见图 D. 23,测试矩阵见 D. 6. 13. 7。

分析仪设置为测量载频幅度和相位,且测试数据应大于 20 ms,使用 4 MHz 带宽以避免频谱截断造成误差。

除使用矢量信号分析仪外,当能证明分析捕获数据所需的相关软件算法能给出相同的最终结果时,可直接取样和数字化,采样率不应小于 100 MHz,幅度分辨率不应小于 12 位。

测量数据中定义一个 $400 \mu\text{s} \sim 800 \mu\text{s}$ 宽的滑动窗,窗口起始位置在输入磁通量到达稳定状态后。

在滑动窗中心选取超过 $1.77 \mu\text{s}$ 宽度的区间评估平均(RMS)幅度值。幅度抖动定义为上述 RMS 值与整个滑动窗的平均幅度值(长窗口内解调出的正弦幅度的算术平均值或真有效值)之差。

在滑动窗的所有位置,幅度抖动应在 $+1.5 \text{ dB} \sim -2.0 \text{ dB}$ 范围内。

D. 6. 11 信号带宽测试

测试连接见图 D. 23,测试条件见 D. 6. 13. 8。

直接使用信号分析仪的频谱分析模式测量 10 dB 信号带宽,测量结果应小于 1 MHz。

测试步骤如下:

- a) 测定围绕已测定的中心频率的 1 MHz 通带内的信号功率,通过评估信号频谱的真有效值实现。使用分辨率带宽 4.8 kHz,扫频 4 MHz(相当于信号记录长度 $800 \mu\text{s}$),平均因数 10,信号功率值在上述定义 1 MHz 通带内的频谱获得;
- b) 中心频率提高 1 MHz,重复上述过程,测量 1 MHz 通带内信号功率;

- c) 中心频率降低 1 MHz,重复上述过程,测量 1 MHz 通带内信号功率;
步骤 b)、c)测量的信号功率之和应比步骤 a)测量的信号功率低 10 dB 以上。

D. 6. 12 延时及应答器控制接口参数变化测试

测试连接见图 D. 23,测试矩阵见 D. 6. 13. 9。

在 D. 6. 13. 9 中定义的应答器控制接口输入信号条件下,确认应答器功能正常,并从有源应答器控制接口到接口 A 的信号延迟小于 10 μ s。

从参考信号发生器发送至有源应答器接口的报文起始位置由参考信号发生器输出的触发信号指示,分析接收到的报文,并评估两个接口间的信号延迟,同时验证发送的整条报文是否被正确接收。

D. 6. 13 测试条件矩阵

D. 6. 13. 1 概述

测试条件矩阵定义了适用的测试用例,见 D. 6. 2 和 D. 6. 3。

如无特别说明,以下定义的测试矩阵所有条件均为标称条件。

D. 6. 13. 2 中心频率和频率偏移

在 D. 6. 2. 3 定义的启动斜坡后进行测试。

标称条件下在表 D. 2 中规定的所有磁通量级别条件下均进行测试,其他特殊条件下只适用磁通量水平 3。

按表 D. 3 规定的报文和测试环境的组合进行测试。

表 D. 3 中心频率与频率偏移测试环境与测试报文

测试环境	报文类型 4	报文类型 5
标称	√	√
温度下限	√	—
温度上限	√	—
金属板	√	—
钢枕	√	—
盐水	√	—
清水	√	—
铁矿石	√	—

D. 6. 13. 3 旁瓣后启动

按表 D. 2 中规定的所有磁通量级别条件下进行测试。

按表 D. 4 中规定的报文和测试环境的组合进行测试。

表 D. 4 旁瓣后启动测试环境与测试报文

测试条件	报文类型 4	报文类型 5
标称	√	√

D. 6. 13. 4 平均数据速率

在 D. 6. 2. 3 中定义的 27 MHz 射频能量磁通量启动斜坡到达 Φ_{d1} 时刻之后 10 ms 内开始测试。

在表 D. 2 规定的磁通量级别 3 条件下进行测试。

按表 D. 5 规定的报文和测试环境的组合进行测试。

表 D.5 平均数据速率测试环境与测试报文

测试条件	报文类型 2	报文类型 3	报文类型 5
标称	√	√	√
金属板	—	√	—
钢枕	—	√	—
盐水	—	√	—
清水	—	√	—
铁矿石	—	√	—

D.6.13.5 MTIE(最大时间间隔误差)

在 D.6.2.3 中定义的启动斜坡后进行测试。
在表 D.2 中规定的磁通量级别 3 条件下进行测试。
按表 D.6 中规定的报文和测试环境组合进行测试。

表 D.6 MTIE 测试环境与测试报文

测试条件	报文类型 1	报文类型 2	报文类型 3	报文类型 4	报文类型 5
标称	√	√	√	√	√
温度下限	—	—	√	—	—
温度上限	—	—	√	—	—
金属板	—	—	√	—	—
钢枕	—	—	√	—	—
盐水	—	—	√	—	—
清水	—	—	√	—	—
铁矿石	—	—	√	—	—

D.6.13.6 启动区幅度抖动

在表 D.2 中规定的磁通量级别 3 条件下进行测试。
按表 D.7 中规定的报文和测试环境的组合进行测试。

表 D.7 启动区幅度抖动测试环境与测试报文对照表

测试条件	报文类型 1	报文类型 5
标称	√	√
金属板	√	—
钢枕	√	—
盐水	√	—
清水	√	—
铁矿石	√	—

D. 6. 13. 7 稳定区幅度抖动

在表 D. 2 中规定的所有磁通量级别条件下进行测试。
不使用 D. 6. 2. 3 中规定的射频能量调制信号。
按表 D. 8 中规定的报文和测试环境的组合进行测试。

表 D. 8 稳定区幅度抖动测试环境与测试报文对照表

测试条件	报文类型 1	报文类型 5
标称	√	√
金属板	√	—
钢枕	√	—
盐水	√	—
清水	√	—
铁矿石	√	—

D. 6. 13. 8 信号带宽

射频能量信号为连续波,磁通量为表 D. 2 中规定的磁通量级别 3,并仅采用类型 1 报文。
不使用 D. 6. 2. 3 中规定的射频能量调制信号。
对于有源应答器,仅采用开启参考信号发生器的情况。

D. 6. 13. 9 延时及应答器控制接口参数变化

仅适用于有源应答器,应连接参考信号发生器(启用参考信号发生器)。
射频能量信号为连续波,磁通量为表 D. 2 中规定的磁通量级别 3,并仅采用类型 1 报文。
不使用 D. 6. 2. 3 中规定的射频能量调制信号。
应答器控制接口信号根据 D. 7. 3 将接口 C1 和接口 C6 电平设为定义的最小值,其他参数设定为标称值。

D. 7 有源应答器控制接口特性测量

D. 7. 1 概述

如无特别说明,用于产生接口 C 信号的测试工具源阻抗的回波损耗不应低于 23 dB。
上行链路 FSK 性能测试见 D. 6。

D. 7. 2 标称测试条件

D. 7. 2. 1 测试环境

如无特别说明,本节测试环境与 4. 1 规定的相同。

D. 7. 2. 2 测试距离

标准测试天线的环中心与应答器参考标记或参考环之间的垂直距离为 220 mm ± 2 mm。

D. 7. 2. 3 射频能量磁通量特性

射频能量磁通量应满足如下特性:

- a) 频率为 27. 095 MHz ± 5 kHz;
- b) 信号为无调制的连续波;
- c) (对某些特定测试)磁场将调制成模拟列车通过形式,见 D. 6. 2. 3。

瞬态测量在 27 MHz 磁通量在起始斜坡到达 Φ_{d1} 后 150 μs 时刻开始,该瞬态测量用于“阻止上行链路报文转换”测试,详见 D. 7. 5. 6。

射频能量磁通量在表 D. 9 规定的三个级别条件下进行校准。

表 D. 9 射频能量磁通量级别

磁通量级别	磁通量取值
1	$\Phi_{d1} + 0.8 \text{ dB} \pm 0.5 \text{ dB}$
2	$\Phi_{d2} + 10 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$
3	$\Phi_{d4} - 1 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$

D. 7. 2. 4 报文内容

附录 B. 2 中类型 1 至类型 5 报文。

D. 7. 3 电气特性需求

D. 7. 3. 1 接口 A1

接口 A1 信号电气特性见表 D. 10。

表 D. 10 接口 A1 上行链路信号电气特性

特 性	标 称 值	说 明
调制	FSK	—
中心频率	$4.234 \text{ MHz} \pm 175 \text{ kHz}$	见 D. 6. 5
频率偏移	$282.24 \times (1 \pm 7\%) \text{ kHz}$	见 D. 6. 5
带宽	$< 1 \text{ MHz}$	见 D. 6. 11
幅度抖动	$-2.0 \text{ dB} \sim +1.5 \text{ dB}$	见 D. 6. 10
平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 2.5\%) \text{ kbit/s}$	见 D. 6. 7
MTIE(及载频相位抖动)	MTIE1 或 MTIE2	见 D. 6. 8

D. 7. 3. 2 接口 C1

接口 C1 信号电气特性归纳见表 D. 11(LEU 输出)。

表 D. 11 接口 C1 上行链路信号电气特性

特 性	标 称 值	说 明
信号电平 V_2	$> 14V_{pp}$	120 Ω 阻性负载
信号电平 V_2	$< 18V_{pp}$	120 Ω 阻性负载
波形及位编码	DBPL	—
平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 0.02\%) \text{ kbit/s}$	超过连续 1 500 位平均值
时间抖动	$< 60 \text{ ns}$	—
上升时间 10% 至 90%	$> 100 \text{ ns}$	—
回波损耗(LEU 输出端)	$> 6 \text{ dB}$	参考负载 120 Ω

加到 120 Ω 阻性负载上的信号应满足图 D. 27 和表 D. 12 的要求,信号不应进入图示阴影区。

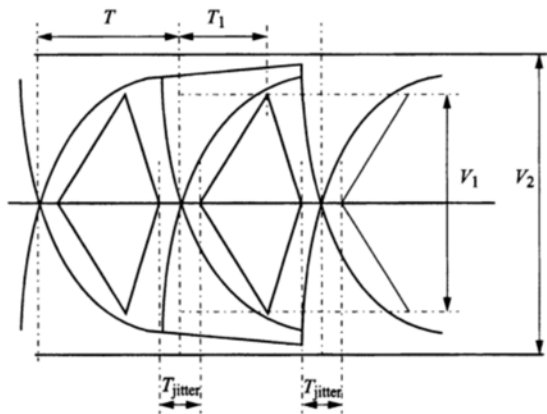


图 D. 27 接口 C1 眼图

表 D. 12 接口 C1 眼图参数

变 量	LEU 输出要求
T	$1/(2 \times \text{实际平均数据速率})$
T_{jitter}	60 ns
T_1	$0.6T$
V_1	$0.74V_2$

眼图特性测试应通过符合特征方程式 (D. 31) 的指数信号来实现：

$$V_{\text{out}} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[-1.87 \times V_2 \times e^{-\frac{t}{\tau}} + V_2 \right], & \text{上升沿} \\ \frac{1}{2} \left[1.87 \times V_2 \times e^{-\frac{t}{\tau}} - V_2 \right], & \text{下降沿} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (\text{D. 31})$$

式中：

V_{out} ——单位为伏特(V)；

V_2 ——单位为伏特(V)；

τ ——取值 332.3 ns, 测试中, 可接受范围为 330 ns \pm 30 ns。

为在测试过程中可调整 V_2 信号电平, 连接的负载阻抗应为 120 $\Omega \pm 1 \Omega$ 阻性负载, 虚部最大为 $\pm j1 \Omega$ 。

方程式 (D. 31) 中 1.87 的取值适用于 332.3 ns 的理论时间常数, 如果使用其他时间常数, 应对该系数进行适当的修正, 以保证获得连续的信号。

D. 7. 3. 3 接口 C6

接口 C6 信号电气特性 (LEU 输出端) 见表 D. 13。

表 D. 13 接口 C6 信号电气特性

特 性	额 定 值	说 明
标称值	$20V_{\text{pp}} \sim 23V_{\text{pp}}$	170 Ω 阻性负载
波形	正弦波	—
频率	$8.820 \text{ kHz} \pm 0.1 \text{ kHz}$	—

表 D. 13 接口 C6 信号电气特性(续)

特 性	额 定 值	说 明
二次谐波幅度	< -20 dBc	—
谐波(杂波)成分	< -40 dBc	0.1 MHz ~ 1 MHz, 120 Ω 阻性负载
回波损耗(LEU 输出端)	> 4 dB	参考负载 170 Ω
注:170 Ω 负载应为 $170\ \Omega \pm 1\ \Omega$ 阻性负载,虚部最大为 $\pm j1\ \Omega$ 。		

D. 7. 3. 4 接口 C4

阻止上行链路报文转换为可选功能,接口 C4 信号应满足表 D. 14 和图 D. 28 要求。

允许应答器于 Φ_{d1} 前启动,所以允许 T_d 取负值。

阻抗模值应在 8.720 kHz ~ 8.920 kHz 范围内进行评估。

表 D. 14 接口 C4 信号电气特性

特 性	最 小 值	最 大 值
$ Z _{\text{未激活}}$	150 Ω	300 Ω
$ Z _{\text{激活}}$	—	$0.1 Z _{\text{未激活}}$
T	150 μs	350 μs
T_d	—	150 μs

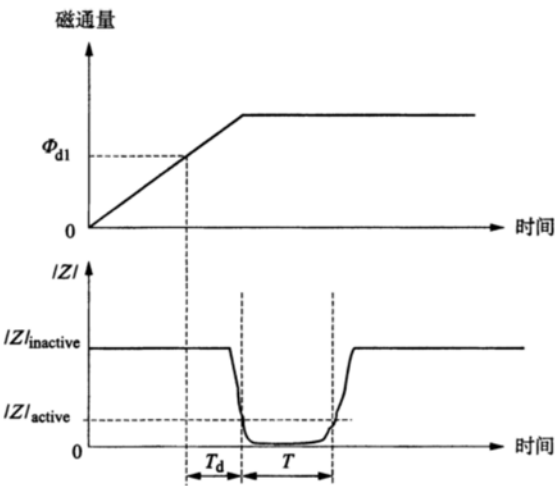


图 D. 28 接口 C4 信号

D. 7. 4 27 MHz 射频能量磁通量校准

D. 7. 4. 1 校准设备连接

宜按照图 D. 29 进行校准设备连接。

D. 7. 4. 2 校准过程

校准过程仅处理 27 MHz 射频能量磁通量为恒量的情况,不处理模拟过车时带有斜率的磁通量。校准过程得到参考值 P_{27BA} ,用于按 D. 7. 2. 3 中表 D. 9 所列的射频能量磁通级别激活应答器。

具体校准过程如下：

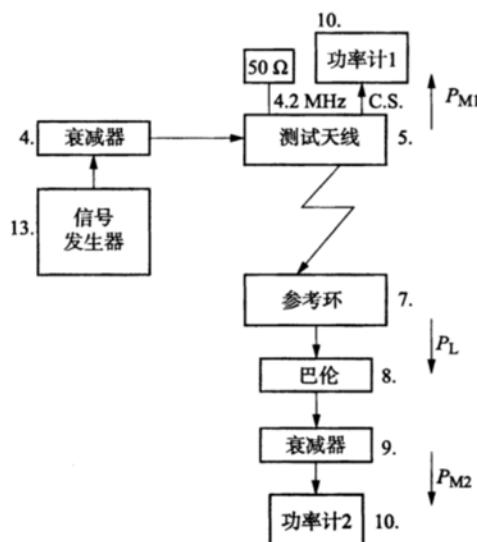


图 D. 29 射频能量校准测试连接

- a) 把标准测试天线放置于相对参考环 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置,标准测试天线的电气中心与参考环的电气中心对齐,检查参考环的 X 、 Y 、 Z 轴与定位系统的 X 、 Y 、 Z 轴对齐;
- b) 按公式(D. 32)计算通过参考环的磁通量为“ $\Phi_{d1} + 0.8 \text{ dB}$ ”时参考环上对应的功率 P_L 值,测量衰减值并按公式(D. 33)计算 P_{M2} ,记为 P_{M2REF} (单位 dBm);

$$P_L = \frac{(2\pi f\Phi)^2}{50(150 + Z_{\text{loop}}/50)^2 B^2} \dots\dots\dots (\text{D. 32})$$

式中:

- f ——频率为 27.095 MHz;
- Z_{loop} ——参考环在没有天线时的实际阻抗($R_{\text{loop}} + jX_{\text{loop}} \Omega$);
- P_L ——测量得到参考环输出的功率,单位为瓦(W);
- B ——参考环的匹配传输比。

$$P_{M2} = 10 \lg(1000 \times P_L) - A \dots\dots\dots (\text{D. 33})$$

式中:

A ——参考环巴伦(图 D. 29 编号 8)、衰减器(图 D. 29 编号 9)及从参考环到功率计 2 探头之间电缆上的总衰减,单位为分贝毫瓦(dBm)。

- c) 设置信号发生器产生频率为 27.095 MHz 的连续波;
- d) 调整标准测试天线输入功率,使通过参考环的磁通量为“ $\Phi_{d1} + 0.8 \text{ dB}$ ”,记录功率计 2 读数为 P_{M2} ;
- e) 记录功率计 1 读数为 P_{M1} ;
- f) 根据 P_{M2} 的读数和步骤 b)中计算得到的 P_{M2REF} 的差按公式(D. 34)补偿 P_{M1} 的读数,记新值为 P_{27RL} (单位 dBm);

$$P_{27RL} = P_{M1} + (P_{M2REF} - P_{M2}) \dots\dots\dots (\text{D. 34})$$

- g) 用表 D. 9 定义的所有磁通量级别重复步骤 b)至 f)。

注:对于步骤 b)中的计算,假设 Z_{loop} 相对 50 Ω 很小, $\Phi_{d1} + 0.8 \text{ dB} = 8.5 \text{ nWb}$,衰减值等于 20 dB,则对于大尺寸参考环 P_{M2} 等于 -3.8 dBm,对于标准尺寸参考环 P_{M2} 等于 -7.2 dBm。

D. 7.5 功能测试

D. 7.5.1 测试设备连接

宜按照图 D. 30 进行测试设备连接。

f) 在 D. 7. 5. 2. 3 中所列的所有测试条件下重复步骤 c) 至 e)。

D. 7. 5. 2. 2 测试信号电平定义

表 D. 16 接口 C1 信号电平定义

名 称	LEU 输出电平 V
V_2 最小值	$14^{+0.25}_0 V_{pp}$
V_2 最大值	$18^0_{-0.25} V_{pp}$

表 D. 17 接口 C6 信号电平定义

名 称	LEU 输出电平 V
最小值	$20^{+0.3}_0 V_{pp}$
最大值	$23^0_{-0.3} V_{pp}$

D. 7. 5. 2. 3 测试矩阵

表 D. 18 LEU 输出接口 C1、C6 信号电平对应测试条件

磁通量等级	接口 C1 电平		接口 C6 电平		斜坡时间 ns
	最小值	最大值	最小值	最大值	
1	—	✓	—	✓	100
1	✓	—	✓	—	100
1	—	✓	—	✓	330
1	✓	—	✓	—	330
2	—	✓	—	✓	100
2	✓	—	✓	—	100
2	—	✓	—	✓	330
2	✓	—	✓	—	330
3	—	✓	—	✓	100
3	✓	—	✓	—	100
3	—	✓	—	✓	330
3	✓	—	✓	—	330

D. 7. 5. 3 电气数据对应平均数据速率

D. 7. 5. 3. 1 测试过程

本测试用于确认接口 C1 信号平均数据速率变化(见 D. 7. 3. 2)时,应答器接口 A1 的传输特性是否在允许的偏差范围内,本测试中,接口 C1 信号的边沿应经过测试,在 $\tau = 100^{+10}_0$ ns 和 $\tau = 330$ ns \pm 30 ns 条件下满足眼图特性要求。

具体测试过程如下:

- a) 将标准测试天线定位于相对应答器[$X = 0, Y = 0, Z = 220$]位置;
- b) 设置信号发生器(图 D. 30 编号 1)发送频率为 27. 095 MHz 的连续波;

- c) 调整标准测试天线的输入功率,使通过应答器的磁通量约为 $\Phi_{dl} + 0.8 \text{ dB}$ 。本步骤可通过使功率计 1(P_{M1})读数等于 D. 7. 4. 2 中测得的 P_{27RL} 值实现;
- d) 按表 D. 19 设置接口 C 信号发生器(图 D. 30 编号 13);

表 D. 19 信号发生器设置要求 2

接口名称	项 目	特性要求
接口 C1	电平	$V_2 = 14^{+0.25}_0 V_{pp}$
	平均数据速率	见 D. 7. 5. 3. 2
	报文	类型 1,无抖动
接口 C6	电平	$20^{+0.3}_0 V_{pp}$
	频率	$8.820 \text{ kHz} \pm 0.01 \text{ kHz}$

- e) 检查上行链路的参考接收机(图 D. 30 编号 42)下列内容:
- 1) 应答器发送选定的报文;
- 2) 中心频率、频率偏移、平均数据速率及 MTIE 在需求范围内(见表 D. 10)。
- f) 在 D. 7. 5. 3. 2 中所列的所有测试条件下重复步骤 c)至 e)。

D. 7. 5. 3. 2 测试矩阵

测试矩阵见表 D. 20。

表 D. 20 LEU 输出接口 C1 平均数据速率对应测试条件

磁通量等级	平均数据速率 kbit/s		斜坡时间 ns
	$564.38 \times (1 + 0.004\%)$	$564.58 \times (1 - 0.004\%)$	
1	√	—	100
1	—	√	100
1	√	—	330
1	—	√	330
2	√	—	100
2	—	√	100
2	√	—	330
2	—	√	330
3	√	—	100
3	—	√	100
3	√	—	330
3	—	√	330

D. 7. 5. 4 电气数据对应抖动特性

D. 7. 5. 4. 1 测试过程

本测试用于确认接口 C1 信号在给定义的眼图允许范围(见 D. 7. 3. 2)时,应答器接口 A1 的传输特性是否在允许的偏差范围内。本测试中,接口 C1 信号的边沿应经过测试,在 $\tau = 100^{+10}_0 \text{ ns}$ 和 $\tau = 330 \text{ ns} \pm 30 \text{ ns}$ 条件下满足眼图特性要求。

具体测试过程如下：

- a) 将标准测试天线定位于相对应答器 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置；
- b) 设置信号发生器(图 D. 30 中编号 1)发送频率为 27.095 MHz 的连续波；
- c) 调整标准测试天线的输入功率,使通过应答器的磁通量约为 $\Phi_{d1} + 0.8$ dB。本步骤可通过使功率计 1(P_{M1})读数等于 D. 7. 4. 2 中测得的 P_{27RL} 值实现；
- d) 按表 D. 21 设置接口 C 信号发生器(图 D. 30 中编号 13)；

表 D. 21 信号发生器设置要求 3

接口名称	项 目	特性要求
接口 C1	电平	$V_2 = 14^{+0.25}_{-0} V_{pp}$
	平均数据速率	564.48(1 ± 0.004%) kbit/s
	报文	类型 4, 抖动 60 ns
接口 C6	电平	$20^{+0.3}_{-0} V_{pp}$
	频率	8.820 kHz ± 0.01 kHz

初始 DBPL 编码信号采用规定的平均数据速率,时间抖动随机应用于此信号的每个边沿。时间抖动能在 -30 ns ~ $+30$ ns 范围内改变(见表 D. 10)。

- e) 检查上行链路的参考接收机(图 D. 30 编号 42)下列内容：

- 1) 应答器发送选定的报文；
- 2) 中心频率、频率偏移、平均数据速率及 MTIE 在需求范围内(见表 D. 10)。

- f) 在表 D. 9 中所列的所有射频能量磁通量下重复步骤 c)至 e)。

D. 7. 5. 4. 2 测试矩阵

测试应在 $\tau = 100^{+10}_{-0}$ ns 和 $\tau = 330$ ns ± 30 ns 两种条件下进行。

D. 7. 5. 5 多种回波损耗条件下的应答器测试

D. 7. 5. 5. 1 测试设备连接

图 D. 31 给出参考信号发生器(图 D. 31 中编号 13)的详细说明,完整测试连接图见 D. 7. 5. 1。

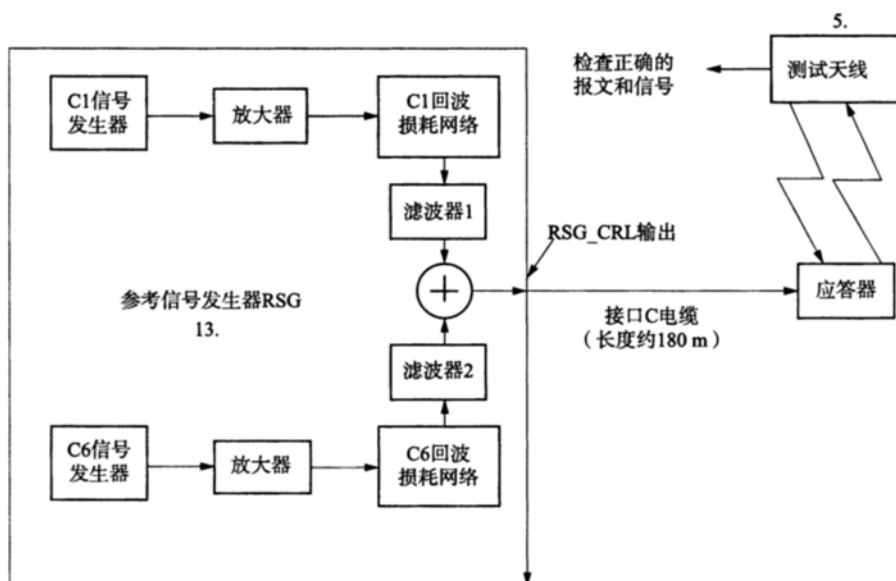


图 D. 31 用于回波损耗测试的信号发生器

接口 C1/C6 回波损耗网络应提供表 D. 23 所列的多个复杂回波损耗条件的组合信号,应对接口 C1

及 C6 进行三种不同回波损耗条件(即低阻性、容性及感性条件)测试,对接口 C1 还应进行高阻条件测试。

测试工具应能实现在接口 C1 完整信号带宽内的回波损耗为 $6_{-0.5}^0$ dB,以及接口 C6 完整信号带宽内的回波损耗为 $4_{-0.2}^0$ dB。

测试对象为应答器及其接口 C 电缆。电缆类型由制造商确定,电缆长度约为 180 m。

D.7.5.5.2 测试过程

本测试用于确认接口 C1 和接口 C6 处于多种回波损耗环境时,应答器及其接口 C 电缆能够正确传输选择的报文。

具体测试过程如下:

- a) 将标准测试天线定位于 $[X=0, Y=0, Z=460]$ 位置;
- b) 设置射频能量信号发生器(图 D.30 中编号 1)产生频率为 27.095 MHz 的连续波;
- c) 调整标准测试天线的输入电流,使通过应答器的磁通量约为 $\Phi_{a2} + 10$ dB,通过使功率计 1 读数等于 D.7.4.2 中测得的 P_{27RL} 值实现,校准数据见 D.6.4;
- d) 将接口 C1/C6 回波损耗网络设置为测试矩阵(见表 D.23)中的案例 1;
- e) 设置接口 C1 及 C6 信号发生器(图 D.31 编号 13)配置如表 D.22,接口 C1 及接口 C6 信号电平应在 RSG_CRL 输出端(见图 D.31)测量,连接特定阻性负载(分别为 120 Ω 和 170 Ω);

表 D.22 信号发生器设置要求 4

接口名称	项 目	特性要求
接口 C1	电平	$V_2 = 16V_{PP} \pm 0.25V_{PP}$
	平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 0.004\%)$ kbit/s
	报文	类型 1
接口 C6	电平	$22V_{PP} \pm 0.3V_{PP}$
	频率	$8.820 \text{ kHz} \pm 0.01 \text{ kHz}$

- f) 检查上行链路的参考接收机(图 D.30 编号 42)下列内容:

- 1) 应答器发送选定的报文;
- 2) 中心频率、频率偏移、平均数据速率及 MTIE 在需求范围内。

- g) 在表 D.23 测试矩阵中四个测试案例下重复步骤 e) 及 f);

表 D.23 LEU 输出接口 C1 及 C6 回波损耗测试条件

测试案例	C1 回波损耗 $6_{-0.5}^0$ dB(0.2 MHz ~ 0.6 MHz)			C6 回波损耗 $4_{-0.2}^0$ dB(8.820 kHz \pm 0.01 kHz)		
	RSG_CRL 在 423 kHz 下,“阻性”,反射系数角度	RSG_CRL 在 423 kHz 下,“容性”,反射系数角度	RSG_CRL 在 423 kHz 下,“感性”,反射系数角度	RSG_CRL 在 8.82 kHz 下,“阻性”,反射系数角度	RSG_CRL 在 8.82 kHz 下,“容性”,反射系数角度	RSG_CRL 在 8.82 kHz 下,“感性”,反射系数角度
1	$180^\circ \pm 10^\circ$	—	—	$180^\circ \pm 10^\circ$	—	—
2	$0^\circ \pm 10^\circ$	—	—	“直连”,回波损耗大于 23 dB,相位角 $0^\circ \pm 10^\circ$		
3	—	$-90^\circ \pm 10^\circ$	—	—	$-90^\circ \pm 10^\circ$	—
4	—	—	$90^\circ \pm 10^\circ$	—	—	$90^\circ \pm 10^\circ$
注:反射系数定义为 $r = (Z_n - 1)/(Z_n + 1)$,其中 $Z_n = Z/Z_0$, Z_0 对于接口 C1 及接口 C6 取值分别为 120 Ω 和 170 Ω 。						

h) 在接口 C1 发送信号斜率为 $\tau = 100^{+10}_0$ ns 条件下,按测试矩阵案例 1 重复步骤 e) 及 f)。

D. 7. 5. 6 阻止上行链路报文切换

D. 7. 5. 6. 1 说明

接口 C 电缆最大长度为 10 m,应考虑应答器到测试设备间的电缆的影响并进行补偿,此过程由测试工具使用确定负载通过自动校准程序完成。

本节测试开始时刻为 27 MHz 射频能量磁通量在启动阶段达到 $\Phi_{d1} - 10$ dB 时,测试触发时刻的校准见 D. 6. 2. 3。

D. 7. 5. 6. 2 测试过程

列车开始通过应答器时,应答器改变其对 LEU 阻抗(可选功能),以指示 LEU 在之后一个给定的时间延迟内不切换报文,本节测试该项功能。

具体测试过程如下:

- a) 将标准测试天线放置于 $[X=0, Y=0, Z=460]$ 位置;
- b) 设置信号发生器(图 D. 30 编号 1)生成频率为 27. 095 MHz 的连续波;
- c) 调整标准测试天线的输入功率,使通过应答器的磁通约为 $\Phi_{d2} + 10$ dB,通过使功率计 1 读数等于附录 D. 7. 4. 2 中测得的 P_{27RL} 值实现,校准数据见 D. 6. 4;
- d) 设置射频能量信号发生器(图 D. 30 编号 1)模拟列车通过的信号(见 D. 6. 2. 3);
- e) 按照表 D. 24 设置接口 C 信号发生器(图 D. 30 编号 13);
- f) 检查上行链路参考接收机(图 D. 30 编号 42)下列内容:
 - 1) 应答器发送选定的报文;
 - 2) 该报文在信号激活期间无中断。

表 D. 24 信号发生器设置要求 5

接口名称	项 目	特性要求
接口 C1	电平	$V_2 = 18^{+0}_{-0.25} V_{pp}$
	平均数据速率	$564.48 \times (1 \pm 0.004\%) \text{ kbit/s}$
	报文	全 1 数据流,无抖动
接口 C6	电平	$23^{+0}_{-0.3} V_{pp}$
	频率	$8.820 \text{ kHz} \pm 0.01 \text{ kHz}$

g) 检查接口 C 的参考接收机(图 D. 30 编号 42)下列内容:

- 1) T_d 和 T 在需求范围内(见表 D. 14);
- 2) 信号激活时,输入阻抗在规定范围内(见表 D. 14)。

在测试环境中需要一个用于关联接口 C 和接口 A 的测试的触发信号,且接口 C 信号发生器应传输全 1 的持续报文流。

阻止信号可能在应答器刚启动时出现,允许在 Φ_{d1} 之前发生。

D. 7. 5. 7 默认报文转换

D. 7. 5. 7. 1 测试过程

本测试仅针对有源应答器,用于确认应答器接口 C 在电缆断线、信号缺失故障条件下可转换到默认报文。

具体测试过程如下:

- a) 将标准测试天线定位于 $[X=0, Y=0, Z=220]$ 位置;
- b) 设置接口 C 信号发生器(图 D. 30 编号 13)为标称条件,选择类型 1 报文;
- c) 设置信号发生器(图 D. 30 编号 1)产生频率为 27. 095 MHz 的连续波;

- d) 调整标准测试天线的输入功率,使通过应答器的磁通量约为 $\Phi_{d2} + 10 \text{ dB}$,通过使功率计 1 读数等于 D. 7. 4. 2 中测得的 P_{27RL} 值实现;
- e) 检查上行链路参考接收机(图 D. 30 编号 42),确定应答器发送选定的报文;
- f) 通过接口 C 信号发生器模拟类型 1 故障(见 D. 7. 5. 7. 2);
- g) 检查上行链路参考接收机(图 D. 30 编号 42),确定应答器转换到默认报文。校验在默认报文发送前插入了 75 ~ 128 位连续逻辑“1”或连续逻辑“0”。逻辑“1”或“0”序列应在导致报文转换的事件发生后相当于 341 位数据时间长度前结束;
- h) 撤销故障;
- i) 检查上行链路参考接收机(图 D. 30 编号 42)确定应答器在列车通过仿真结束前继续发送默认报文;
- j) 关闭射频能量 10 ms;
- k) 开启射频能量,按 D. 7. 5. 7. 2 中全部故障列表执行步骤 e) 至步骤 j)。

D. 7. 5. 7. 2 测试矩阵

接口 C 故障条件见表 D. 25。

接口 C6 额定条件见 D. 7. 3. 3。

表 D. 25 默认报文切换测试故障列表

故障分类	说 明	持续时间
1	切断电缆	$0.6^{+0.4}_0 \text{ ms}$
2	接口 C1 信号为 0 V 接口 C6 信号为额定条件	$0.6^{+0.4}_0 \text{ ms}$

D. 8 破坏性试验

D. 8. 1 概述

本节测试确认应答器在 TB/T 3485—2017 定义的 Φ_{d5} 磁通量条件下一段时间内不会损坏,本测试应在正常 I/O 特性测试(见 D. 3)完成之后进行。

在测试前,应答器应能正常工作。

D. 8. 2 27 MHz 射频能量磁通量校准

应使用 D. 4. 2 的校准结果推定 Φ_{d5} 磁通量。

测试天线电流传感器输出端输出的目标功率值应在“ Φ_{d4} 减 6 dB”基础上线性扩展,如果调整功率时放置有应答器,则应使用脉冲场进行调整,脉宽为 10 ms,占空比为 1:100。

D. 8. 3 试验过程

试验过程如下:

- a) 将应答器放置在与校准过程相同的位置(根据应答器电气中心标记),有源应答器可不连接接口 C;
- b) 根据图 D. 26 模拟列车通过,峰值电平为 Φ_{d5} , T_{on} 持续时间为 10 s, T_{off} 无限长;
- c) 进行有限点的 I/O 特性测试(Φ_{d1} 、 Φ_{d2} 、 Φ_{d4} , 见 D. 3), 确认是否满足需求。测试应只在自由空间中进行,应答器发送默认报文(有源应答器控制接口未连接)。

附 录 E
(规范性附录)
接口 A 参考测试设备

E. 1 概述

本附录描述参考环、测试天线、激励天线的技术规格和测试方法。

参考环应符合 TB/T 3485—2017 中规定的要求,用于绝对数值测量。

测试天线用于激活应答器,并从应答器接收信号,测试天线用于相对数值测量。

激励天线没有上行链路信号的接收线圈,仅用于在串扰和上行链路测试中激活应答器。

E. 2 参考环**E. 2.1 参考环尺寸**

参考环用于测量从天线单元到应答器的磁场强度,以及测量应答器输出的磁场强度。大尺寸参考环和标准尺寸参考环参考区域规定如下:

- a) 大尺寸(宽×长):358 mm×488 mm;
- b) 标准尺寸,横向(宽×长):200 mm×390 mm;
- c) 标准尺寸,纵向(宽×长):390 mm×200 mm。

参考环的输出信号应与穿过参考区域的磁通量成正比。

参考环应由绝缘板防护,绝缘板的总厚度为 25 mm~28 mm;在 X 和 Y 方向,与外界环境的物理接触面应在参考区域以外 19 mm~25 mm(即长度和宽度应比参考区域大 38 mm~50 mm)。绝缘板应定义从参考区域到外界物理接触面的位置和距离,在测试杂物对穿过参考区域的磁通量以及对等效环电流的影响时,应准确定位外界物理接触面精确位置。

参考环应有明显标记以表明参考环的参考位置,应定位在绝缘板的中心±10 mm,该参考位置表示参考环的电气中心(参考区域的中心)。参考环应给出 X、Y、Z 三个方向的正坐标方向定义。

E. 2.2 磁场及电场要求**E. 2.2.1 磁场(H-field)**

参考环应与同种类的另一个参考环进行校准测试。在自由空间中,测试应在两个顶面相对的参考环的水平方向完成,最长的一边应平行,X 轴被定义为参考环最长的一边,Y 轴在水平面垂直于 X 轴。应测量两个参考环在各相对位置时的互感系数,测量结果应与理论计算值进行比较。

表 E.1 为两个相同种类参考环互阻的计算值,表中以 dB 为单位给出衰减值 A,按公式(E.1)或公式(E.2)换算互感系数 M。

$$A = -20 \lg\left(\frac{\omega \times M}{25}\right) \dots\dots\dots (E.1)$$

$$M = 25 \frac{10^{-A/20}}{\omega} \dots\dots\dots (E.2)$$

两个参考环的互阻 A 测量值与理论计算值的偏差不应超过±0.5 dB,横向和纵向标准尺寸参考环其计算值相同。

根据测量值还可估算每个参考环的匹配传输比 B(见 E.2.3)和电气中心。

表 E.1 参考环间的互阻

高度 Z mm	横向位移 Y mm	纵向位移 X mm	大尺寸 射频能量 - dB	大尺寸 上行链路 - dB	标准尺寸 射频能量 - dB	标准尺寸 上行链路 - dB
220	0	0	1.43	17.55	10.85	26.97
220	0	150	3.33	19.45	13.37	29.49
220	0	-150	3.33	19.45	13.37	29.49
220	0	250	6.48	22.60	17.86	33.98
220	0	-250	6.48	22.60	17.86	33.98
220	100	100	3.62	19.74	14.52	30.64
220	100	-100	3.62	19.74	14.52	30.64
220	-100	100	3.62	19.74	14.52	30.64
220	-100	-100	3.62	19.74	14.52	30.64
220	150	200	7.74	23.86	21.22	37.34
220	150	-200	7.74	23.86	21.22	37.34
220	-150	200	7.74	23.86	21.22	37.34
220	-150	-200	7.74	23.86	21.22	37.34
220	150	0	4.35	20.47	16.58	32.70
220	-150	0	4.35	20.47	16.58	32.70
220	200	0	6.63	22.75	21.28	37.40
220	-200	0	6.63	22.75	21.28	37.40
340	0	0	7.48	23.60	18.39	34.51
340	0	275	12.22	28.34	24.71	40.83
340	0	-275	12.22	28.34	24.71	40.83
340	225	225	15.35	31.47	29.90	46.02
340	225	-225	15.35	31.47	29.90	46.02
340	-225	225	15.35	31.47	29.90	46.02
340	-225	-225	15.35	31.47	29.90	46.02
340	275	0	14.48	30.60	29.23	45.35
340	-275	0	14.48	30.60	29.23	45.35
460	0	0	12.63	28.75	24.46	40.58
460	0	250	15.70	31.82	28.34	44.46
460	0	-250	15.70	31.82	28.34	44.46
460	0	350	18.72	34.84	32.11	48.23
460	0	-350	18.72	34.84	32.11	48.23
460	200	200	17.22	33.34	30.56	46.68
460	200	-200	17.22	33.34	30.56	46.68

表 E.1 参考环间的互阻(续)

高度 Z mm	横向位移 Y mm	纵向位移 X mm	大尺寸 射频能量 - dB	大尺寸 上行链路 - dB	标准尺寸 射频能量 - dB	标准尺寸 上行链路 - dB
460	-200	200	17.22	33.34	30.56	46.68
460	-200	-200	17.22	33.34	30.56	46.68
460	300	300	23.04	39.16	37.92	54.04
460	300	-300	23.04	39.16	37.92	54.04
460	-300	300	23.04	39.16	37.92	54.04
460	-300	-300	23.04	39.16	37.92	54.04
460	250	0	16.75	32.87	30.13	46.25
460	-250	0	16.75	32.87	30.13	46.25
460	350	0	20.73	36.85	35.26	51.38
460	-350	0	20.73	36.85	35.26	51.38

E.2.2.2 电场(E-field)

参考环对电场的抑制应大于 25 dB。

25 dB 电场抑制与 TEM 波的 0.5 dB 精度相对应,即当 $E/H = 377 \Omega$ 时参考环发出的电场信号应比磁场低 25 dB。

该需求表示,315 V/m 电场在大尺寸参考环产生的信号应小于 10.3 nWb 磁通量穿过该参考环所产生的信号,同样,445 V/m 电场在标准尺寸参考环上产生的信号应小于 6.5 nWb 磁通量穿过该参考环所产生的信号。

在实际测试环境中,电场强度远小于 $377 \times H$,若要达到较高的准确度,则在近场区域应满足上述条件,并留有余量。

应在纯电场环境中测试参考环,即磁场强度低至可被忽略。

E.2.3 参考环的阻抗补偿

连接到参考环设备的标称阻抗应为 50Ω (即连接到参考环的信号发生器的源阻抗和功率计的负载阻抗应为 50Ω)。

当参考环用于射频能量信号的磁通量测量时需连接 50Ω 负载,并测量该 50Ω 负载两端的电压 V_m 。如果参考环实际频率的串联阻抗为 Z_d ,且匹配传输比为 B ,则通过参考区域的磁通量可按公式(E.3)计算。

$$\Phi_d = \frac{V_m \times B}{\omega} \left(1 + \frac{Z_d}{50}\right) \dots\dots\dots (E.3)$$

如果参考环供电电压为 $2V_s$,串联阻抗为 50Ω ,则参考区域环电流可按公式(E.4)计算。

$$I_u = \frac{2 \times V_s \times B}{50 \times (1 + Z_u/50)} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

Z_u ——参考环的串联阻抗。

参考环阻抗可能受被测物或环境影响,因此测量结果应根据测试过程中的实际阻抗进行补偿,且每次使用参考环进行测试时均需进行阻抗补偿。

B 为匹配传输比,为特定的设计方案提供了补偿方法,以使其特性能满足表 E.1 要求,通常,这是考虑到当特定解决方案的电气尺寸与定义的参考区域不完全一样时(但在参考环可接受容差范围内)的补偿,或者补偿其他的缺陷(如杂散电容等)。

E. 2.4 参考场的频率特性

E. 2.4.1 上行链路

当给参考环提供一个 $50\ \Omega$ 源发出的理想正弦信号,信号频率在 $3.89\ \text{MHz} \sim 4.59\ \text{MHz}$ 之间,则磁场幅度应为 $0\ \text{dB} \sim -0.5\ \text{dB}$ 。

当给参考环提供一个 $50\ \Omega$ 源发出的理想正弦信号,信号频率在 $3.5\ \text{MHz} \sim 5.0\ \text{MHz}$ 之间,则磁场幅度应为 $0\ \text{dB} \sim -1.0\ \text{dB}$ 。

当给参考环提供一个 $50\ \Omega$ 源发出的理想正弦信号,信号频率在 $3.5\ \text{MHz} \sim 5.0\ \text{MHz}$ 之间,则群延迟不大于 $35\ \text{ns}$ 。

上述需求适用于自由空间条件下的作用区。

E. 2.4.2 射频能量

当通过参考环的磁通量为均匀连续的,且频率为 $27.095\ \text{MHz} \pm 10\ \text{kHz}$,则其输出电压应满足下列要求:

- 对于理想 $50\ \Omega$ 负载,输出电压变化最大为 $\pm 0.2\ \text{dB}$;
- 对于 $20\ \Omega \sim 200\ \Omega$ 阻性负载,输出电压变化最大为 $\pm 0.5\ \text{dB}$;
- 对于 $20\ \Omega \sim 200\ \Omega$ 复负载,输出电压变化最大为 $\pm 1.0\ \text{dB}$ 。

上述需求适用于自由空间条件下的作用区。

E. 2.5 杂物影响

E. 2.5.1 参考区域磁通量

当按 E. 5 规定的各种不同杂物覆盖条件下进行测试时,参考环的阻抗将会发生改变。在对这些阻抗变化进行补偿后,测量感应电压的误差不应大于 $1\ \text{dB}$ 。

E. 2.5.2 应答器场强

当按 E. 5 规定的各种不同杂物覆盖的影响下进行的测试时,参考环的阻抗将会改变,在对阻抗变化进行补偿后,测量电流的误差不应大于 $1\ \text{dB}$ 。

E. 2.6 参考环一致性测试

E. 2.6.1 测试过程

将参考环的测量值与表 E. 1 中的理论计算值进行比较,以确定参考环的测量精度。

对表 E. 1 中描述的每个位置,对参考环执行下列过程:

- 对相同种类的两个参考环,测量上行链路和射频能量的衰减值;
- 参考环分别发送 $27.095\ \text{MHz}$ 和 $4.23\ \text{MHz}$ 信号时,测量阻抗;
- 计算参考环的阻抗补偿因子,并加到测量的衰减值中,该补偿基于发送参考环的实际阻抗(对每个独立的测试点)和自由空间中接收参考环的实际阻抗;
- 将补偿结果与理论计算值进行比较;
- 将其中一个参考环在 $X-Y$ 平面旋转 180° ,重复步骤 a) 至 d),以评估参考环是否存在潜在的系统不对称性。

E. 2.6.2 测试设备连接

测试设备连接见图 E. 1。

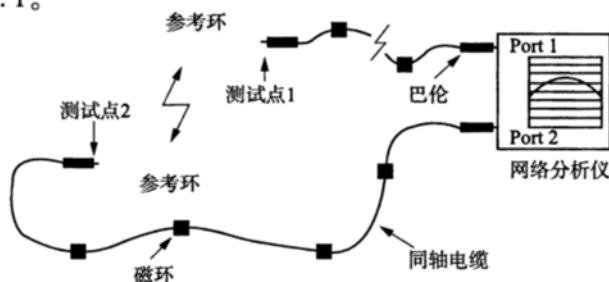


图 E. 1 测试设备连接

E. 2.6.3 仪表设置和校准

带 S 参数网络分析仪测试装置用于测量参考环之间的衰减、参考环在不同位置的阻抗。

传输测量时仪表设置和校准如下：

- 中心频率：上行链路 4.23 MHz，射频能量 27.095 MHz；
- 频率带宽：2 MHz；
- 轨迹 1 输入：S21（传输，Port 1—Port 2）；
- 显示功能：Log/Mag；
- 标记点：上行链路 4.23 MHz，射频能量 27.095 MHz。

该测量需图 E.1 中的测试点 1 和 2 相互连接。

阻抗测量时仪表设置和校准如下：

- 中心频率：上行链路 4.23 MHz，射频能量 27.095 MHz；
- 频率带宽：2 MHz；
- 轨迹 2 输入：S11（反射，Port 1）；
- 显示功能：Smith Chart；
- 标记点：上行链路 4.23 MHz，射频能量 27.095 MHz。

“全端口校准”应在电缆末端口 1 进行，即图 E.1 定义的测试点 1。

E. 2.6.4 参考环阻抗补偿

记录参考环阻抗测量值和两个参考环之间的衰减值，按公式 (E.5) 计算两参考环间的互感补偿因子 K 。

$$K = 20 \lg \left(\frac{\sqrt{(50 + \text{re})^2 + \text{im}^2}}{50} \right) \dots\dots\dots (\text{E. 5})$$

式中：

re —— 参考环阻抗的实部；

im —— 参考环阻抗的虚部。

针对每个测试点的实际阻抗补偿发送参考环，接收参考环应基于在自由空间中的阻抗进行补偿。

由补偿因子加上两参考环间的测量衰减值计算两参考环间的衰减补偿值。比较测量值与理论计算值。

等效模型如图 E.2 所示。

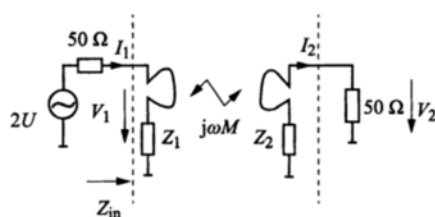


图 E.2 等效电路

在自由空间中测量 Z_2 （即两参考环间距足够远）， Z_{in} 对应每个测试位置的输入阻抗，使用公式 (E.6) ~ 公式 (E.15) 计算。

$$V_1 = I_1 Z_1 - j\omega M I_2 \dots\dots\dots (\text{E. 6})$$

$$V_2 = -I_2 Z_2 + j\omega M I_1 \dots\dots\dots (\text{E. 7})$$

$$P_t = \frac{U^2}{50} \dots\dots\dots (\text{E. 8})$$

$$I_2 = \frac{V_2}{50} \dots\dots\dots (\text{E. 9})$$

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = Z_1 - j\omega M \frac{I_2}{I_1} \quad \text{..... (E. 10)}$$

$$I_2 = \frac{j\omega M I_1}{50 + Z_2} \quad \text{..... (E. 11)}$$

$$Z_{in} = Z_1 + \frac{\omega^2 M^2}{50 + Z_2} \quad \text{..... (E. 12)}$$

$$I_1 = \frac{2U}{50 + Z_{in}} = \frac{2\sqrt{50P_f}}{50 + Z_{in}} \quad \text{..... (E. 13)}$$

$$j\omega M = \frac{V_2 + I_2 Z_2}{I_1} = (50 + Z_{in}) \times \frac{V_2 (1 + Z_2/50)}{2\sqrt{50P_f}} \quad \text{..... (E. 14)}$$

$$j\omega M = \frac{50V_2(1 + Z_2/50)(1 + Z_{in}/50)}{2\sqrt{50P_f}} \quad \text{..... (E. 15)}$$

E. 2. 6. 5 测试环境

应在实验室环境中进行测试,除被测磁场外不存在其他的磁场。在测量期间,参考环与任何金属物间距离应大于 0.5 m。

E. 2. 6. 6 修正因子计算

使用三个相同种类的参考环依照 E. 2. 6. 1 描述的测试过程相互进行交叉测试,测量值和理论计算值之间的误差被分配到每个参考环中,使用公式(E. 16) ~ 公式(E. 18)计算误差。

$$\varepsilon_1 = \frac{a_{12} + a_{13} - a_{23} - a_0}{2} \quad \text{..... (E. 16)}$$

式中:

ε_1 ——参考环 1 的误差;

a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的衰减测量值;

a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_0 ——两个参考环之间的衰减计算值。

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{12} + a_{23} - a_{13} - a_0}{2} \quad \text{..... (E. 17)}$$

式中:

ε_2 ——参考环 2 的误差;

a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的衰减测量值;

a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_0 ——两个参考环之间的衰减计算值。

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{13} + a_{23} - a_{12} - a_0}{2} \quad \text{..... (E. 18)}$$

式中:

ε_3 ——参考环 3 的误差;

a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的衰减测量值;

a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的衰减测量值;

a_0 ——两个参考环之间的衰减计算值。

也可仅在两个参考环之间进行测试,其中一个是已经校准的参考环,另一个是需要被校准的参

考环。

应采取其中一种方法以最小化每个参考环计算误差的平均值和标准差。

实现上述目标的做法是对参考环电气中心进行一小段位移,将相应补偿因子加入测量值,评估补偿结果。补偿因子应根据每个测试点的场分布(单位为 dB/cm)导数计算。参考环的 B 因子也可能会变化。本方法引入了补偿因子加入测量值,使整体的误差平均值最小化。在这种情况下,补偿因子对所有的几何测试点均相同,且构成了 B 因子的变化。磁场分布导数见表 E.2。为了估计潜在的系统不对称,其中一个参考环应在 $X-Y$ 平面旋转 180° ,且其测试结果也应被计入。

表 E.2 磁场分布导数

高度 Z mm	横向位移 Y mm	纵向位移 X mm	大尺寸 X -导数 dB/m	大尺寸 Y -导数 dB/m	大尺寸 Z -导数 dB/m	标准尺寸 X -导数 dB/m	标准尺寸 Y -导数 dB/m	标准尺寸 Z -导数 dB/m
220	0	0	0	0	0.55	0	0	0.70
220	0	150	0.25	0	0.49	0.34	0	0.63
220	0	-150	0.25	0	0.49	0.34	0	0.63
220	0	250	0.40	0	0.44	0.60	0	0.53
220	0	-250	0.40	0	0.44	0.60	0	0.53
220	100	100	0.18	0.27	0.47	0.24	0.54	0.54
220	100	-100	0.18	0.27	0.47	0.24	0.54	0.54
220	-100	100	0.18	0.27	0.47	0.24	0.54	0.54
220	-100	-100	0.18	0.27	0.47	0.24	0.54	0.54
220	150	200	0.33	0.42	0.36	0.48	0.86	0.26
220	150	-200	0.33	0.42	0.36	0.48	0.86	0.26
220	-150	200	0.33	0.42	0.36	0.48	0.86	0.26
220	-150	-200	0.33	0.42	0.36	0.48	0.86	0.26
220	150	0	0	0.40	0.45	0	0.81	0.41
220	-150	0	0	0.40	0.45	0	0.81	0.41
220	200	0	0	0.56	0.38	0	1.14	0.12
220	-200	0	0	0.56	0.38	0	1.14	0.12
340	0	0	0	0	0.46	0	0	0.55
340	0	275	0.36	0	0.36	0.48	0	0.40
340	0	-275	0.36	0	0.36	0.48	0	0.40
340	225	225	0.30	0.44	0.25	0.39	0.66	0.13
340	225	-225	0.30	0.44	0.25	0.39	0.66	0.13
340	-225	225	0.30	0.44	0.25	0.39	0.66	0.13
340	-225	-225	0.30	0.44	0.25	0.39	0.66	0.13
340	275	0	0	0.54	0.25	0	0.79	0.09
340	-275	0	0	0.54	0.25	0	0.79	0.09
460	0	0	0	0	0.40	0	0	0.45

表 E.2 磁场分布导数(续)

高度 Z mm	横向位移 Y mm	纵向位移 X mm	大尺寸 X-导数 dB/m	大尺寸 Y-导数 dB/m	大尺寸 Z-导数 dB/m	标准尺寸 X-导数 dB/m	标准尺寸 Y-导数 dB/m	标准尺寸 Z-导数 dB/m
460	0	250	0.25	0	0.34	0.32	0	0.36
460	0	-250	0.25	0	0.34	0.32	0	0.36
460	0	350	0.36	0	0.27	0.45	0	0.27
460	0	-350	0.36	0	0.27	0.45	0	0.27
460	200	200	0.20	0.27	0.29	0.25	0.36	0.28
460	200	-200	0.20	0.27	0.29	0.25	0.36	0.28
460	-200	200	0.20	0.27	0.29	0.25	0.36	0.28
460	-200	-200	0.20	0.27	0.29	0.25	0.36	0.28
460	300	300	0.31	0.41	0.14	0.38	0.52	0.04
460	300	-300	0.31	0.41	0.14	0.38	0.52	0.04
460	-300	300	0.31	0.41	0.14	0.38	0.52	0.04
460	-300	-300	0.31	0.41	0.14	0.38	0.52	0.04
460	250	0	0	0.34	0.29	0	0.44	0.27
460	-250	0	0	0.34	0.29	0	0.44	0.27
460	350	0	0	0.47	0.18	0	0.59	0.09
460	-350	0	0	0.47	0.18	0	0.59	0.09

E.3 测试天线

E.3.1 测试天线尺寸

射频能量的测试天线环尺寸为 200 mm × 200 mm, 上行链路的测试天线环尺寸为 40 mm × 40 mm。这两个环应处于同一平面, 几何中心偏差不大于 2 mm。屏蔽板的尺寸为 600 mm × 600 mm, 位于距环中心 400 mm 处, 并与其平行。

测试天线的射频能量环应通过串联电容调谐到实际频带, 上行链路环在射频能量信号频率带内应呈足够高的阻抗, 以使射频能量信号电流产生的场可被忽略, 同样, 射频能量环在上行链路信号频率带内应呈足够高的阻抗, 使得对上行链路感应电压也可被忽略。

测试天线采用的电缆应为双屏蔽低损耗电缆, 并使用适当的铁氧体磁环沿电缆均匀布置, 磁环间隔小于 70 cm。

E.3.2 场要求

电场抑制应大于 25 dB。

测试天线在大尺寸参考环内产生的磁场应高于 20 nWb, 在标准尺寸参考环内产生的磁场应高于 7.5 nWb, 均应在作用区内得到验证。

E.3.3 阻抗

射频能量信号环的标称源阻抗为 50 Ω, 射频能量信号环的输入阻抗由制造商给定。

上行链路信号环的标称负载阻抗为 50 Ω, 上行链路信号环的源阻抗由制造商给定。

E.4 激励天线

E.4.1 激励天线尺寸

射频能量信号的激励天线环尺寸为 200 mm × 200 mm。

激励天线应通过串联电容调谐到实际频带,天线环在上行链路信号频带内应呈足够高的阻抗,以使所产生的非期望电流与被测应答器电流相比可被忽略。

激励天线采用的电缆应为双屏蔽低衰耗电缆,并使用适当的铁氧体磁环沿电缆均匀布置,磁环间隔小于 70 cm。

E. 4.2 场要求

电场抑制应大于 25 dB。

激励天线在大尺寸参考环内产生的磁场强度应高于 150 nWb,在标准尺寸参考环内产生的磁场强度应高于 60 nWb,并在激励天线位于参考环上方 220 mm、纵向偏移最大为 250 mm、无横向偏移、参考环平行于 X 轴条件下,均应得到验证。

E. 4. 3 阻抗

由设备连接至激励天线的标称源阻抗为 $50\ \Omega$, 激励天线环的输入阻抗由制造商给定。

E.5 测试条件

E. 5. 1 概述

本节中凡是声明与参考环测试相关的,同样适用于应答器;凡是声明与应答器测试相关的,同样适用于参考环。

本节包含了 TB/T 3485—2017 规定的全部杂物和金属物测试条件,而对于常规测试,可选择其中部分测试项。

E. 5.2 杂物

E. 5. 2. 1 杂物箱

杂物箱的尺寸为 1 220 mm × 950 mm (*X* 方向 × *Y* 方向), 应按图 E. 3 和图 E. 4 所示设计和使用杂物箱。

E. 5. 2. 2 液体杂物

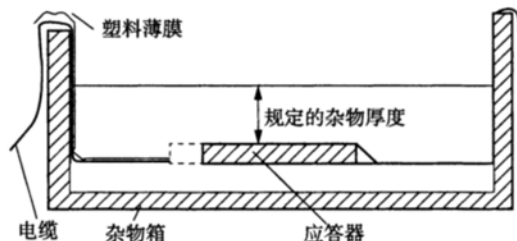


图 E.3 液体杂物的使用要求

图 E.3 中,在应答器的左边有一矩形阴影区,右边有一三角形阴影区,在这些阴影区内应为空气。应答器左边的矩形区是在校准参考环期间巴伦占用的空间,实际的应答器测试时这个空间应为自由空间。应答器右边的三角区表示当在应答器周围使用塑料薄膜时不可避免出现的间隙,为便于再现性,塑料薄膜应与基底成 45° 角。

对于应答器不规则的表面,允许使用足够强度和厚度的塑料薄膜,杂物层的底部与应答器顶面最低点(固定孔除外)之间的距离最大为 2 mm,塑料薄膜可不固定在杂物箱的四周。

E. 5.2.3 非液体杂物

杂物层底部与应答器顶面最低点(固定孔除外)之间的距离(图 E.4 中的 a 表示),对于 B 级杂物要求应小于 2 mm,对于 A 级杂物要求应小于 5 mm,在满足上述要求情况下,杂物可盛装于采用与空气条件特性等同的材料制成的盒体中。

应答器侧面与杂物层之间的距离(图 E.4 中的 b 表示)不应大于 2 mm,在满足上述要求情况下,杂物可盛装于采用与空气条件特性等同的材料制成的盒体中。

应答器上杂物层底部与应答器旁杂物层底部之间的距离(图 E.4 中的 c 表示),对于 B 级杂物要求

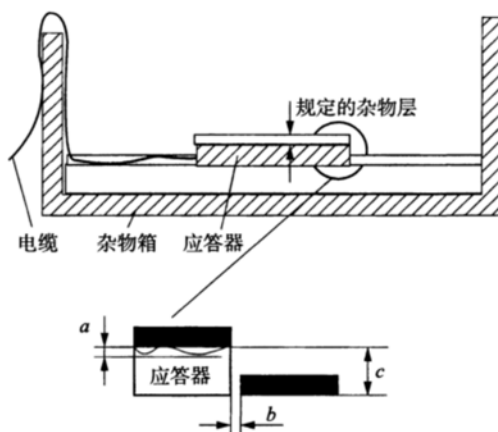


图 E.4 非液体杂物的使用要求

应为 70 mm,对于 A 级杂物要求应为 110 mm。

在应答器顶面的杂物层应大于应答器(或参考环)顶面,允许有小于 2 mm 的容差。

杂物层最外边缘距离杂物箱内壁应小于 100 mm。

E. 5. 2. 4 参考环和应答器

E. 5. 2. 4. 1 盐水

使用浓度为 0.1% NaCl 盐水。

有两种测试案例:对于 A 级杂物要求,盐水液面为参考环顶面以上 100 mm 位置;对于 B 级杂物要求,盐水液面为参考环顶面以上 10 mm 位置。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 2 清水

有两种测试案例:对于 A 级杂物要求,清水液面为参考环顶面以上 200 mm 位置;对于 B 级杂物要求,清水液面为参考环顶面以上 100 mm 位置。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 3 铁矿石(磁铁矿)

有两种测试案例:对于 A 级杂物要求,在参考环上覆盖 20 mm 厚磁铁矿石;对于 B 级杂物要求,在参考环上覆盖 2 mm 厚磁铁矿石。参考环下面应为自由空间。

铁矿石杂物的成分要求如下:

- a) 含 Fe_3O_4 :92.5% 至 97.5%;
- b) 含铁:少于 71%;
- c) 水分:少于 4%;
- d) 容积密度: $3.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

E. 5. 2. 4. 4 铁矿石(赤铁矿)

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上覆盖 20 mm 厚赤铁矿石,参考环下面应为自由空间。

赤铁矿杂物的成分要求如下:

- a) 含 Fe_2O_3 :90% 到 95%;
- b) 含 Fe_3O_4 :可忽略;
- c) 含铁:少于 68%;
- d) 水分:少于 4%;
- e) 容积密度: $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

E. 5. 2. 4. 5 新鲜雪

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 300 mm 厚的雪,新鲜雪的温度约为 0℃,也可使用人造雪。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 6 部分融化雪

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 300 mm 厚的雪,部分融化雪的温度约为 0℃,且水的含量占体积的 20%,也可使用人造雪。产生部分融化雪时,温度为 0℃的新鲜雪与温度为 0℃的清水混合(20% 容积的水)。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 7 冰

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 100 mm 厚的冰。冰中不应包含孔隙(凝结过程自然产生的气泡除外)。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 8 道砟

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 100 mm 厚道砟,道砟不应含铁。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 9 干沙

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 20 mm 厚的沙,沙应干燥、不含铁。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 10 湿沙

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 20 mm 厚的沙,沙不含铁,水含量应为容积的 20% (清水)。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 11 不含盐泥浆

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 50 mm 厚泥浆,泥浆不含铁,水含量应为容积的 20% (清水),且为赤陶类。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 12 含盐泥浆

有两种测试案例:对于 A 级杂物要求,在参考环上面覆盖 50 mm 厚含盐泥浆;对于 B 级杂物要求,在参考环上面覆盖 10 mm 厚含盐泥浆。泥浆不含铁,水含量应为容积的 20% (清水),水中盐的浓度(NaCl)应为重量的 0.5%,泥浆为赤陶类。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 13 铁粉

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 10 mm 厚铁粉,铁粉(列车制动产生的铁粉)是在铁路环境中常见的不传导的油脂和铁氧化物的混合物。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 14 煤粉

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 10 mm 厚煤粉,煤粉约含 8% 硫黄,是在自然界常见种类(如用于供暖)。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 4. 15 油和油脂

A 级和 B 级杂物要求条件下,均在参考环上面覆盖 50 mm 厚油层或油脂,油脂应为普通轴承类油脂,油应为发动机润滑的标准矿物油。参考环下面应为自由空间。

E. 5. 2. 5 天线单元**E. 5. 2. 5. 1 冰**

使用清水制成的冰,冰中不应包含孔隙(凝结过程自然产生的气泡除外),冰层施加于天线单元底部,厚度最小为 10 mm,最大至应答器上表面,测试时应用的冰层厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 2 新鲜雪

新鲜雪的温度约为 0℃,也可使用人造雪,雪层施加于天线单元底部,厚度最小为 20 mm,最大至应答器上表面,测试时应用的雪层厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 3 部分融化雪

部分融化雪的温度约应为 0℃,且水的含量应为容积的 20%,也可使用人造雪,产生部分融化雪时,温度为 0℃的新鲜雪与 0℃的清水混合(20% 容积的水),雪层施加于天线单元底部,厚度最小为 10 mm,最大至应答器上表面,测试时应用的雪层厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 4 不含盐泥浆

泥浆不应含铁,水的含量应为容积的 20% (清水),且泥浆为赤陶类,泥浆层施加于天线单元底部,厚度最小为 10 mm,最大为 50 mm,测试时应用的泥浆厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 5 含盐泥浆

泥浆不应含铁,水的含量应为容积的 20% (清水),水中盐的浓度 (NaCl) 应为重量的 0. 5%,泥浆层施加于天线单元底部,厚度最大为 50 mm,测试时应用的泥浆厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 6 铁矿石 (磁铁矿)

材料成分见 E. 5. 2. 4. 3,施加于天线单元底部,厚度最大为 5 mm,测试时应用的铁矿石厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 7 铁矿石 (赤铁矿)

材料成分见 E. 5. 2. 4. 4,施加于天线单元底部,厚度最大为 5 mm,测试时应用的铁矿石厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 8 铁粉

铁粉 (列车制动产生的铁粉) 是在铁路环境中常见的不传导的油脂和铁氧化物的混合物,施加于天线单元底部,厚度最小为 2 mm,最大为 5 mm,测试时应用的铁粉厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 9 煤粉

煤粉约含 8% 硫黄,是自然界常见种类 (如用于供暖),施加于天线单元底部,厚度最大为 5 mm,测试时应用的煤粉厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 2. 5. 10 油和油脂

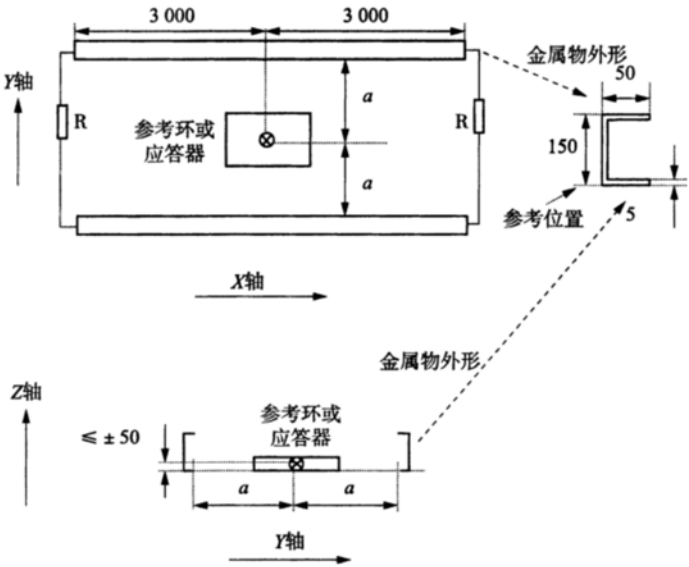
油脂应为普通轴承类油脂,油应为发动机润滑的标准矿物油,施加于天线单元底部,厚度最小为 2 mm,最大为 20 mm,测试时应用的油和油脂厚度由天线单元制造商提出。

E. 5. 3 金属物

E. 5. 3. 1 应答器无金属空间以外的金属物

测试时依照图 E. 5 进行布置。

单位为毫米



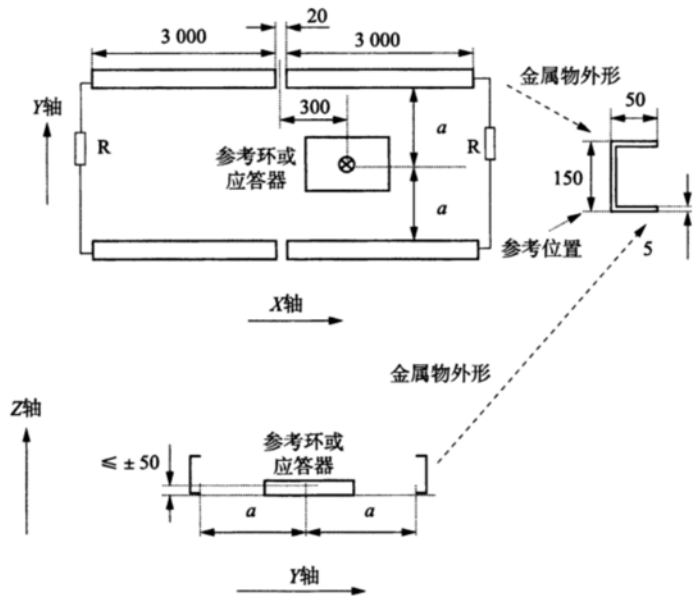
说明:
电阻 R 为 $200\ \Omega$;
距离 a 对于大尺寸参考环为 400 mm,对于纵向标准尺寸参考环为 315 mm,对于横向标准尺寸参考环为 410 mm。

图 E. 5 靠近参考环的金属物布置

E. 5. 3. 2 护轮轨

测试时依照图 E. 6 进行布置。

单位为毫米



说明：
电阻 R 为 $200\ \Omega$ ；
距离 a 对于大尺寸参考环为 $300\ \text{mm}$ ，对于横向标准尺寸参考环为 $320\ \text{mm}$ ，对于纵向标准尺寸参考环为 $220\ \text{mm}$ 。

图 E. 6 靠近参考环的护轮轨布置

E. 5. 3. 3 应答器下方的金属板

测试时依照图 E. 7 进行布置。

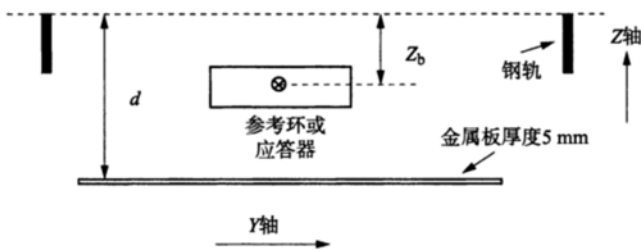


图 E. 7 参考环下的金属板布置

金属板中心与参考环中心相同，所在平面与轨面平行，沿 X 轴尺寸为 $1\ 200\ \text{mm}$ ，沿 Y 轴尺寸为 $900\ \text{mm}$ 。

执行表 E. 3 所列测试矩阵。

图中的钢轨不包含在测试装置中，仅作为高度参考。

表 E. 3 金属板测试矩阵

应答器尺寸	类 型	D mm	Z_b mm
大尺寸	1	292	152
大尺寸	2	420	210
大尺寸	3	203	103

表 E.3 金属板测试矩阵(续)

应答器尺寸	类 型	D mm	Z_b mm
标准尺寸	1	283	143
标准尺寸	2	403	193
标准尺寸	3	193	103

E.5.3.4 钢枕

本测试条件是可选的,仅用于可能在这种条件下使用的产品。
测试时依照图 E.8 进行布置。

单位为毫米

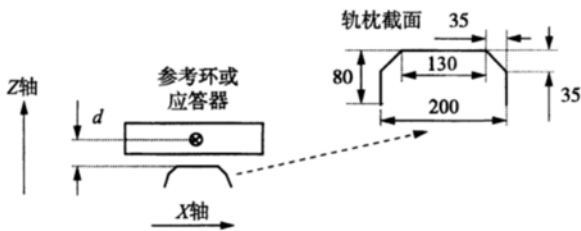


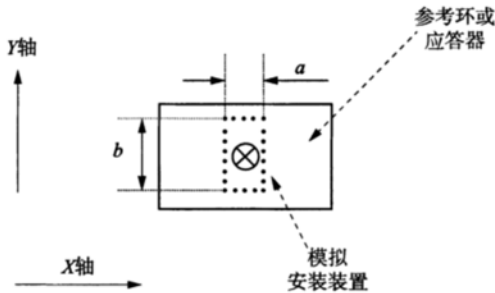
图 E.8 参考环下的钢枕布置

钢枕中心与参考环中心相同,沿 Y 轴尺寸为 2 000 mm。
距离 d 对于大尺寸参考环为 45 mm,对于标准尺寸参考环为 60 mm。

E.5.3.5 其他轨枕

测试时依照图 E.9 进行布置。

即使非导体轨枕也会包含金属组件,因此应对金属组件的总面积予以限制,测试中组件应直接安放在参考环的下面。



E.9 参考环下的(金属)装配组件布置

用金属板模拟组件,其中心与参考环中心相同,表 E.4 给出不同尺寸参考环对应的金属板尺寸:

表 E.4 不同尺寸参考环对应的金属板尺寸 单位为毫米

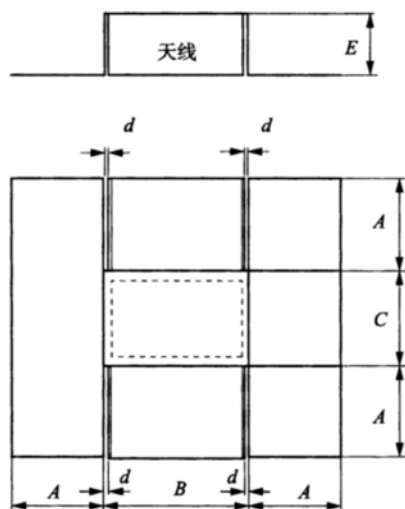
尺 寸	a	b
大尺寸	100	300
标准尺寸	70	200

金属板的厚度为 2 mm。
对于特殊应用的应答器,测试案例按制造商提供的要求进行。

E.5.3.6 天线单元无金属空间以外的金属物

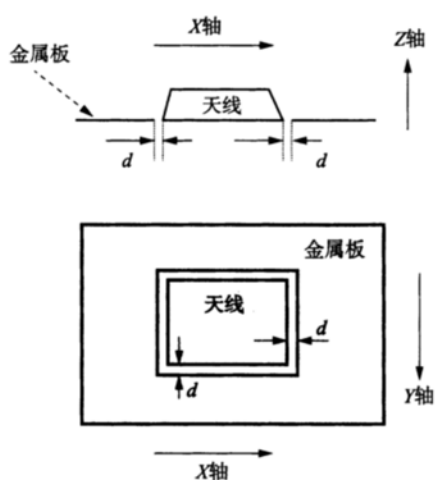
采用两种测试条件,第一种为是“箱体”形式,在金属板材折弯处延伸开口(模拟围绕天线单元周边

的设备箱盒),见图 E. 10;第二种是“开孔”形式,在金属板上开孔以容纳天线单元,见图 E. 11。



注:金属板厚度不小于 2 mm, A 为 300 mm, E 为天线单元的高度, d 、 B 、 C 由天线单元制造商提出。

图 E. 10 天线单元周边的金属箱盒

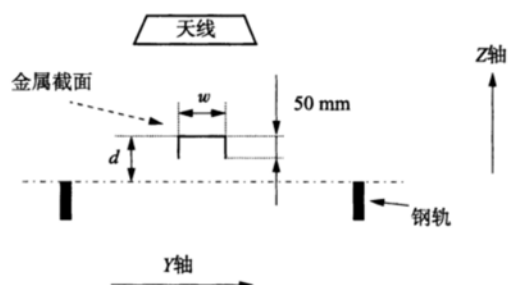


注:金属板厚度不小于 2 mm, 其外形尺寸不小于 1 000 mm × 1 000 mm, d 由天线单元制造商提出。

图 E. 11 天线单元周边的金属板

E. 5. 3. 7 轨道中的金属物

测试时依照图 E. 12 进行布置。



注:金属截面的厚度不小于 2 mm, 长度为 1 200 mm。图中的钢轨不包含在测试装置中, 仅作为高度参考。

图 E. 12 轨道中的金属块

基本测试矩阵见表 E. 5。

表 E. 5 金属块测试矩阵

单位为毫米

类 型	w	d
1	120	92
2	200	50
3	800	0

附录 F

(资料性附录)

LEU 输出回波损耗测试方法

F.1 概述

LEU 正常工作状态下,使用网络分析仪对 LEU 接口 C1 的回波损耗进行测量,在测试之前按本节规定的校准过程对各测量仪器进行校准,然后测量回波损耗。

接口 C6 情况下,由于 S 参数(散射参数)测试设备不能覆盖其较低的工作频率(8.8 kHz),因此需对这种方法进行修正。

F.2 接口 C1 测试设备连接

测试设备连接见图 F.1,网络分析仪端口应能处理不小于 10 dBm 信号,20 dB 衰减器应允许输入功率大于 2 W,并与 S 参数测试设备的端口 1 相连接。

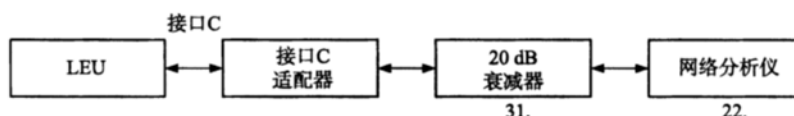


图 F.1 接口“C1”回波损耗的测试设备连接

接口 C 适配器应能实现下列功能:

- 使 LEU 接口 C 的机械和电性能与 20 dB 衰减器匹配;
- 根据试验的要求,使 20 dB 衰减器(典型值 50 Ω)的输入阻抗与 LEU 120 Ω 负载阻抗匹配。

接口 C 适配器建议方案见图 F.2。

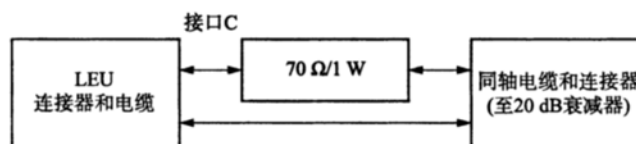


图 F.2 接口 C 适配器

LEU 输出与网络分析仪之间的连接长度不大于 3 m,70 Ω 电阻器可分为 2 个单独的电阻器与 LEU 输出的两极相连接。

F.3 接口 C 测试设备校准

网络分析仪的 S11“全端口校准”应通过“开路”、“短路”和“120 Ω 基准”连接到 LEU 输出端将要连接的点(即:20 dB 衰减器,校准应包括 20 dB 衰减器和接口 C 适配器)。

校准及随后的测量应使用下列各种设置:

- 功率: +15 dBm;
- 内部衰减器:30 dB;
- 带宽分辨率:2 Hz;
- 测量方式:S11 refl.;
- 显示形式:LogMAG (i. e. $20 \times \lg(S11)$);
- 垂直刻度:2 dB/div;
- 扫频:200 kHz ~ 600 kHz;
- 测试点数量:>50 (均匀分布);

——平均因数： >5 。
校准完成后，记录校准结果供后续使用。

F.4 接口 C1 回波损耗测试过程

连接 LEU 与经校准的网络分析仪，各设置与校准时的状态相同，运用长报文(B.2 中的 18 号报文)进行该测试，步骤如下：

- a) 使 LEU 传输指定报文；
- b) 重启平均过程并等待新测试步骤结束；
- c) 记录网络分析仪(参见图 F.3 实例)生成的最终图形；
- d) 网络分析仪直接提供所需频率范围内的反射系数(单位 dB)绝对值，检查各点是否低于回波损耗的容许值。

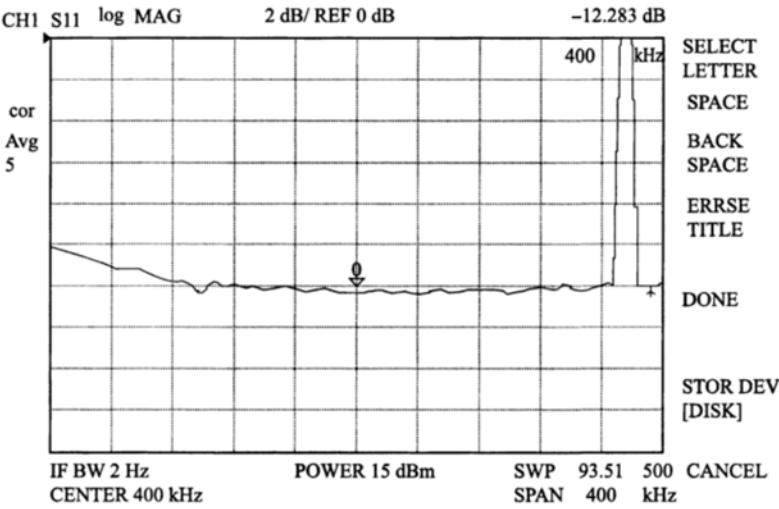


图 F.3 接口 C1 回波损耗测试结果举例

F.5 接口 C6 测试设备连接

测试设备连接见图 F.4，频谱分析仪端口应能处理不小于 10 dBm 信号，用网络分析仪配置为频谱分析仪。

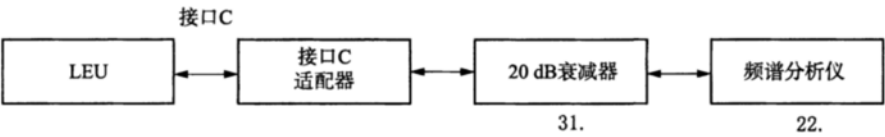


图 F.4 接口 C6 回波损耗的测试设备连接

20 dB 衰减器与接口 C1 测试使用的相同，与分析仪输入(如：网络分析仪端口 R)连接。

接口 C 适配器与接口 C1 测试使用的相同，但不使用 70 Ω 电阻器，而由表 F.1 所列的器件代替，使用 2 个单独的器件时，与 LEU 输出的两极相连接。

表 F.1 用于试验的阻抗值

步骤	阻抗类型	元 件 值	精 度	连 接	用于评估的所有阻抗的标称值
1	电阻器	60 Ω/1 W	<1%	见图 F.2	$R_1 \approx 60 \Omega$
2	电阻器	180 Ω/1 W	<1%	见图 F.2	$R_2 \approx 180 \Omega$
3	电阻器	120 Ω/1 W	<1%	见图 F.2	$R_3 \approx 120 \Omega$
	电容器	165 nF/50 V	<1%	RC 串联	$X_3 \approx -109.4 \Omega$

应在测试之前测量实际阻抗值,并用于后续计算,见 F. 7。

LEU 输出与网络分析仪(所有都包括在内)之间的连接长度不大于 3 m。

F. 6 接口 C6 测试设备校准

测试前需对所有器件在 8 kHz ~ 9 kHz 范围内进行测量,设备连接见图 F. 5,在后续评估中使用测量值。

可用上述相同的分析仪或其他等效仪器测量 R_1 、 R_2 、 Z_3 、 Z_0 阻抗,步骤如下:

- 衰减器输出端接 50 Ω 终端电阻(模拟分析仪阻抗),在接口 C 适配器连接处(分析仪侧)测量阻抗 $Z_0 (= R_0 + jX_0)$;
- LEU 侧连接器短路,在接口 C 适配器连接处(分析仪侧)测量阻抗 Z_T [即 R_1 、 R_2 、 $Z_3 (= R_3 + jX_3)$ 的值]。

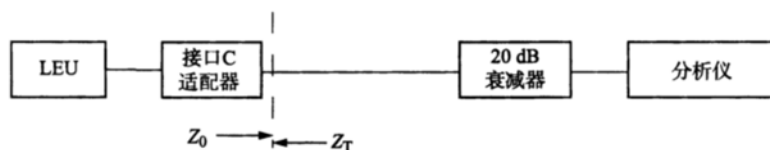


图 F. 5 试验阻抗校准的平面布置

分析仪设置如下:

- 测量方式:频谱 R;
- 显示:VOLT (RMS);
- 中心频率:8.82 kHz;
- 步长:1 kHz;
- 频率分辨率:3 Hz;
- 参考值:500 mV;
- 垂直刻度:50 mV/div。

校准完成后,记录校准结果供后续使用。

F. 7 接口 C6 回波损耗测试过程

经接口 C 适配器和衰减器将 LEU 连接到网络分析仪输入 R,运用长报文(B. 2 中的 18 号报文)进行该测试,步骤如下:

- 按表 F. 1 设置当前测试步骤的接口 C 适配器测试阻抗;
- 使 LEU 传输指定报文;
- 等待频谱峰值稳定;
- 记录实际接口 C6 频率(8.82 kHz \pm 0.1 kHz)对应的最终峰值,将获取值乘以实际衰减(通常为 10),补偿 20 dB 衰减,得到公式(F. 1)和公式(F. 2)所需的 V_1 、 V_2 、 V_3 值;
- 取新测试阻抗重复步骤 a) ~ d),直到完成 3 种测试案例;
- 采用在第 1、第 2 和第 3 轮分别测得的 V_1 、 V_2 、 V_3 电压值(RMS,单位 V),求解公式(F. 1)和公式(F. 2),计算接口 C6 频率下 LEU 的输出阻抗 R_s 、 X_s 值。计算中使用 R_1 、 R_2 、 R_3 、 X_3 实际负载阻抗值(单位 Ω);
- 用公式(F. 3)计算最终回波损耗值,检查该获取值是否高于最低限值。

等效电路见图 F. 6,计算公式(适用于接口 C6 测量)见公式(F. 1)、公式(F. 2)、公式(F. 3)。

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{(R_2 + R_s + R_0)^2 + (X_s + X_0)^2}{(R_1 + R_s + R_0)^2 + (X_s + X_0)^2} \quad \text{..... (F. 1)}$$

$$\frac{V_1^2}{V_3^2} = \frac{(R_3 + R_s + R_0)^2 + (X_s + X_0 + X_3)^2}{(R_1 + R_s + R_0)^2 + (X_s + X_0)^2} \quad \text{..... (F. 2)}$$

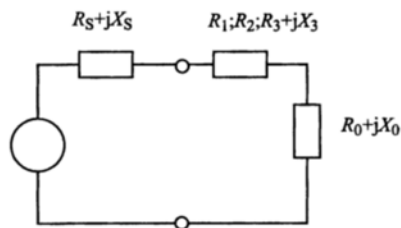


图 F.6 接口 C6 回波损耗赋值的等效电路

$$RL_{C6} = -10 \lg \left[\frac{(R_S - 170)^2 + X_S^2}{(R_S + 170)^2 + X_S^2} \right] \dots\dots\dots (F.3)$$

式中：

- V_1 ——按表 F.1 步骤 1 设置接口 C 适配器测试阻抗,步骤 d) 补偿衰减后的频谱峰值;
- V_2 ——按表 F.1 步骤 2 设置接口 C 适配器测试阻抗,步骤 d) 补偿衰减后的频谱峰值;
- V_3 ——按表 F.1 步骤 3 设置接口 C 适配器测试阻抗,步骤 d) 补偿衰减后的频谱峰值;
- R_1 ——表 F.1 步骤 1 设置接口 C 适配器测试阻抗,测量得到的测试阻抗值;
- R_2 ——按表 F.1 步骤 2 设置接口 C 适配器测试阻抗,测量得到的测试阻抗值;
- $R_3 + jX_3$ ——按表 F.1 步骤 3 设置接口 C 适配器测试阻抗,测量得到的测试阻抗值;
- $R_0 + jX_0$ ——接口 C 适配器连接处(分析仪侧)测量阻抗值;
- $R_S + jX_S$ ——LEU 输出阻抗值;
- RL_{C6} ——接口 C6 回波损耗值。

附 录 G
(规范性附录)
BTM 及天线单元测试方法

G.1 测试环境**G.1.1 标称测试环境****G.1.1.1 环境要求**

符合 4.1 要求。

G.1.1.2 上行链路信号特性

上行链路 FSK 信号参数应设置下列规定的标称值：

- a) $f_L = 3.951 \text{ MHz} \pm 20 \text{ kHz}$;
- b) $f_H = 4.516 \text{ MHz} \pm 20 \text{ kHz}$;
- c) 中心频率为 $4.234 \text{ MHz} \pm 3 \text{ kHz}$;
- d) 频率偏移为 $282.24 \text{ kHz} \pm 3 \text{ kHz}$;
- e) 平均数据速率为 $564.48 \times (1 \pm 0.01\%) \text{ kbit/s}$;
- f) MTIE 特性符合图 G.1 要求;
- g) 两种载频转化时,载波相位应连续;
- h) 幅度抖动为 $\pm 1.2 \text{ dB}$ 范围内。

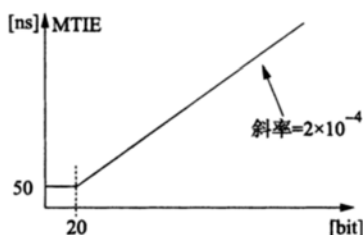


图 G.1 标称 MTIE 需求

G.1.1.3 报文内容

通常使用 B.2 中的类型 8 报文,当模拟速度 350 km/h 以上线路的标准尺寸应答器测试时,使用 B.2 中的类型 1 报文。

G.1.1.4 角度偏移

倾斜角、俯仰角及偏转角应设置为 0。

G.1.2 特殊测试环境**G.1.2.1 气候条件**

被测天线单元应用的温度限值应按照 TB/T 3485—2017 中提出的要求。

G.1.2.2 角度偏移

倾斜角应设置为最不利条件(制造商指明的最大角度及参考环最大倾斜角 $\pm 2^\circ$),天线单元和参考环均应用倾斜角,并实现最不利条件的组合。

俯仰角应设置为最不利条件(制造商指明的最大角度及参考环最大倾斜角 $\pm 5^\circ$),天线单元和参考环均应用俯仰角,并实现最不利条件的组合。

偏转角预期无明显影响,不进行测试。

G.1.2.3 金属物

金属物测试条件见 E.5.3 中定义,除指明“天线单元无金属空间以外的金属物”测试条件外,天线单元均应用自由空间条件。在该特定金属条件下,参考环处于自由空间条件。

在参考环下金属平面测试和参考环下钢枕测试中,测试高度某些情况下受限于 TB/T 3485—2017 中的规定。

下列高度应用于参考环下金属平面测试条件:

- a) 大尺寸参考环:最大测试高度减 $(210 - Z_b)$, Z_b 定义见 E.5.3;
- b) 标准尺寸参考环:最大测试高度减 $(193 - Z_b)$ 。

下列高度应用于参考环下钢枕测试条件:

- c) 最大测试高度减去 d , d 定义见 E.5.3;
- d) 对标准尺寸参考环,最小测试高度减去 14 mm(大尺寸参考环不缩减)。

G.1.2.4 杂物

E.5.2 给出杂物测试条件以及杂物箱的设计和使用方法。

对参考环应用下列条件:

- a) 盐水;
- b) 清水;
- c) 铁矿石(磁铁矿)。

上述测试中,天线单元应处于自由空间条件,对大尺寸参考环应用 A 级杂物测试时,最大测试高度应缩减 20 mm,对标准尺寸参考环缩减量为 43 mm,在杂物 A 级和杂物 B 级条件下均进行测试,杂物 B 级条件无高度缩减。

对天线单元,应用“天线上的冰”测试条件时,参考环应处于自由空间条件,制造商应指明冰层应用厚度。

G.2 通用测试配置

G.2.1 被测接口

使用下列测试接口用于访问测试数据、控制操作模式、模拟预定的测试输入:

- a) 接口 V1(参见附录 I):用于读取车载 BTM 设备报告的测试数据,并控制其工作模式。接口 V1 也可嵌入在车载设备整机测试接口内;
- b) 接口 V2(参见附录 I):用于周期性发送与列车运行(实物或仿真)条件一致的当前时间及里程数据给 BTM;
- c) 接口 V4(参见附录 I):用于向嵌入 BTM 功能的车载设备提供与列车移动(实物或仿真)条件一致的速度传感器信号。

上述测试接口可能需要制造商提供特定适配器,用于转换测试系统与设备之间传输信息的格式和类型。

G.2.2 通用测试设备连接

宜按照图 G.2 进行测试设备连接。

功率计 2(编号 10)及射频开关(编号 36)由计算机通过 LTMS 控制(图中未明示控制通路),此外,LTMS 应向 RSG_1(编号 13)提供触发信号(预定义序列的起始条件)。

LTMS 向 RSG 传输数据文件可选用 RS232 通信。

G.3 辐射图评估

G.3.1 概述

测试目标是在静态条件下寻找可能的最弱应答器信号和激励磁通,测试几何位置为天线单元及 BTM 具备检测应答器和接收期望报文能力的参考环上方区域(即探测 BTM 阈值 V_{th} 状况及射频能量磁通),测试还应提供旁瓣区特性信息。本测试结果将用于创建模拟动态应答器通过的信号图的输入。

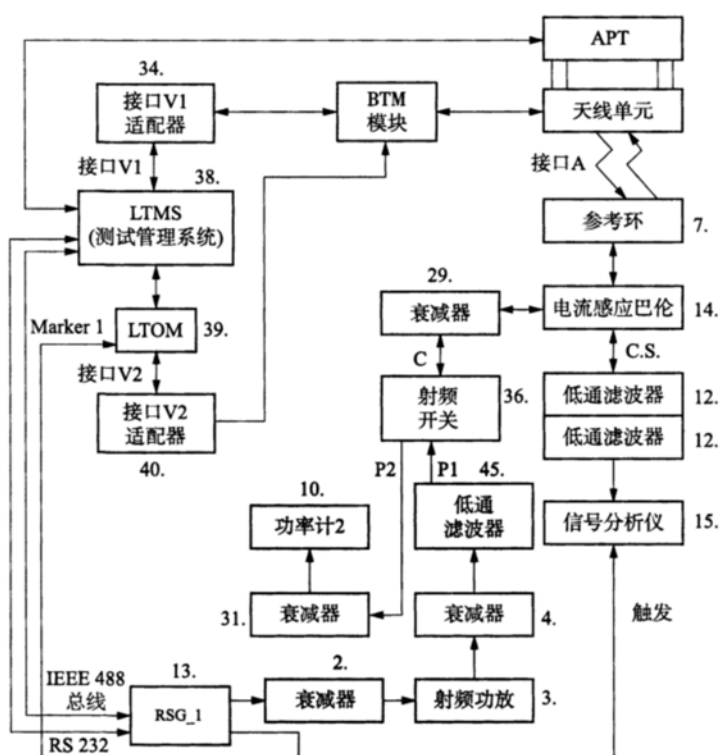


图 G.2 通用测试连接

测试过程分别包括下列两方面内容：

- 测量通过参考环的实际射频能量磁通量 Φ ；
- 确定触发 BTM 阈值 (V_{th}) 所需的上行链路电流 I_{th} 。

在上行链路测试中,信号发生器连接参考环,发生图 G.3 要求的 FSK 上行链路信号,模拟典型应答器通过情况,携带一条正确报文,且电流峰值可逐渐变化直到达到 I_{th} ,由接口 V1 获得 BTM 输出响应, BTM 设置为常规操作模式。

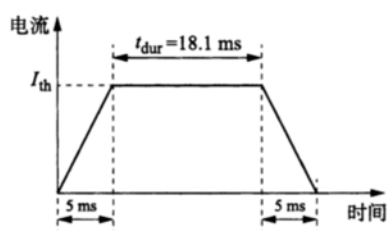


图 G.3 上行链路信号

t_{dur} 的选择应保证传输 10 帧完整 1023 位报文数据,里程表输入信号的选择应使图 G.3 中平坦部分相当于速度 100 km/h 时的 0.5 m (从上升沿起始到下降沿结束的整个序列相当于约 0.78 m)。

在上行链路测试中,选择通过参考环的起始值 I_{u1} ,逐步提升或降低电流幅值直到达到 BTM 阈值。对电流幅值提升,应用 0.2 dB 步长直到达到 $I_{u1} + 7$ dB,再应用 0.5 dB 的步长直到达到最大电流幅值 $I_{u1} + 24$ dB。对电流幅值降低,应用 0.5 dB 步长直到降低到电流 I_{th} ,存在磁滞现象时, I_{th} 应全部按电流幅值增长过程中的取值确定。

实际射频能量磁通 Φ 及阈值电流 I_{th} 按 C.4 中定义的每个几何测试点进行测试。对 G.1.1 给出的、分别受 C.6 和 C.7 测试矩阵限制的所有测试条件重复进行此过程,此外应测试 $[X=0, Y=0, Z=最$

大高度]位置,该位置测试结果作为 G. 4 的校准参考值,该位置的 BTM 阈值电流定名为 I_{THREF} 。

测试过程使用 B. 2 定义的报文类型 8。

G. 3. 2 测试过程与辐射图评估

测试设备连接见附录 G. 2. 2,测试过程如下:

- a) 将天线单元定位与 $[X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}]$, 选择 G. 1. 1 定义的标称测试条件。
- b) 设置 RF 开关在 P2 位置。
- c) 命令 BTM 工作于正常操作模式。
- d) 记录功率计 2 的读数。
- e) 对 C. 4 和 C. 6 中剩余几何测试点重复进行步骤 d)。
- f) 按公式 (G. 1) 计算和记录通过参考环的磁通量。

$$\Phi = \frac{\sqrt{50 \cdot P_{\text{PM2}}} \cdot B \left(\frac{|50 + Z_{\text{loop}}|}{50} \right)}{2 \cdot \pi \cdot f_{27}} \dots\dots\dots (\text{G. 1})$$

式中:

- P_{PM2} ——记录的功率计 2 读数;
 B ——参考环传输匹配比;
 Z_{loop} ——参考环在无天线情况下的实际阻抗;
 f_{27} ——射频能量频率(27. 095 MHz);

注:应预先考虑并确定(测试之前)射频开关、衰减器以及电流感应巴伦的衰减和阻抗,上式中未予考虑。

- g) 设置 RF 开关在 P1 位置。
- h) 设置任意信号发生器发生符合图 G. 3 所示的上行链路信号,起始电流设定为最小可控电流(约 1 mA),该电流通过矢量信号分析仪测量,电流感应巴伦的相关传输响应参见 J. 5。矢量信号分析仪测定的电流需使用参考环 B 参数进行补偿(即测试目标电流应为预期的参考环电流除以 B 得到)。按 100 km/h 速度设置时间和里程信息。
- i) 将天线单元定位于 $[X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}]$ 位置。
- j) 记录 BTM(经接口 V1)的输出信息,判别上行链路信号高于或低于 BTM 阈值(V_{th})。判定标准为上行链路信号波形发送完毕后,BTM 获得了正确的应答器定位并报告了预期的报文。
- k) 在信号高于阈值情况下,按 G. 3. 1 中规定的步长逐渐减小电流幅值,直到信号下降到低于阈值;在信号低于阈值情况下,按规定的步长逐渐提升电流幅值,直到信号超过阈值。记录实际阈值 I_{th} 。
- l) 按 C. 4 和 C. 6 定义的所有剩余几何测试点重复进行步骤 j) 和 k),为了加速此过程,新阈值 I_{th} 的估计可基于前一位置得到的最佳值开始进行。
- m) 按 G. 1. 2 中定义的全部特殊测试条件以及 C. 6 测试矩阵,重复以上步骤 a) 至步骤 l),在每种测试环境测试时,将步骤 a) 中“标称条件”替换为相关的“特殊条件”。
- n) 在温度极限情况下重复步骤 a) 至步骤 d) 和步骤 g) 至步骤 k),判定可能的性能改变,在 G. 4 计算过程中应注意潜在的性能变化。

G. 4 创建动态测试信号波形

G. 4. 1 概述

目标为在没有任何设备发生物理移动的情况下,创建一个随时间变化的 4. 2 MHz 电流通过参考环以模拟应答器通过,即在常规的 FSK 信号调制之外,对上行链路信号按时间进行调制。在本标准后续应用测试中,参考环将定位于 $[X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}]$,该点定义为几何参考点。

记录的射频能量磁通幅值(图 G. 4 中的 Φ)将用于测定两种最不利情况下应答器(图 G. 4 中 I_{Low} 和 I_{High})的响应。

此后,鉴于数据(I_{th})在 G.3 定义的辐射图测试中获得,应计算一个模拟应答器通过的信号波形图(时变信号图)。对于所有几何位置(和全部应用测试条件),BTM 实际阈值电流 I_{th} 应与 I_{THREF} 比较,将几何测试点 [$X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}$] 作为参考位置,该位置的 BTM 阈值电流命名为 I_{THREF} 。

对每个横向和垂向位移,对每种应答器类型(见图 G.4),沿 X 轴记录 Φ 和 I_{th} ,存储为独立文件,用于模拟应答器通过的动态信号。

计算(及模拟)的信号波形为通过参考环的上行链路信号电流,由可能的最弱或最强应答器与 I_{th} 与 I_{THREF} 间差异(考虑符号)之和构成,而且,对于可能的最弱应答器,将模拟其实际的启动特性(包含启动延迟时间 T_{bal}),即最弱应答器需经过磁通达到 Φ_{dl} 后 150 μs 的延迟 T_{bal} 才被激活。每个模拟的应答器通过应根据 I_{THREF} 进行归一化。

测试仅进行一次数据采集,之后通过适当尺度变化以模拟所要求的速度,分两个部分举例说明动态信号生成过程(见图 G.4 及图 G.5)。第一部分为处理位置相关的事件(见图 G.4),仅需执行一次;第二部分为处理时间相关的事件,对所需模拟每种车速均重复进行(见图 G.5)。信号波形生成算法示例(见 G.4.3)仅处理位置相关的部分。

图 G.4 及图 G.5 用图形表示了上述过程。图 G.4 最上方图形是天线单元在不同几何位置时通过参考环的磁通量示例(在 G.3 中得到),中间图形的较低曲线(I_{LOW})是通过基于 TB/T 3485—2017 中输入输出特性曲线下限的可能的最弱应答器的 4.2 MHz 电流,相似的虚线(I_{HIGH})表示可能的最强应答器,中间图形中靠上的曲线(I_{TH})为通过参考环的实际 4.2 MHz 电流,该电流传输的上行链路信号使 BTM 达到阈值。图 G.4 底部图形为对应位置的计算电流($I_{(x)}$),此计算电流将用于驱动一个置于天线单元([$X=0, Y=0, Z=\text{最大高度}$]位置)正下方参考环,以模拟应答器通过。图 G.5 表明了如何处理时间相关事件,即计算随时间变化的参考环电流(I_{CALC})。时间刻度取决于模拟车速,应答器启动特性也在图中体现出来。

通过计算几何参考点(I_{THREF})和其他各点的 BTM 功能阈值之差,对 I_{THREF} 进行归一化。

I_{THREF} 是自由空间中无任何倾斜情况下(即标称条件)参考位置的测定值。

应考虑由于温度极限下性能变化,造成的最不利条件的潜在变化,对最弱应答器,温度效应(上升或下降效果)将导致(当导致磁通减少时)标称条件下的最低射频能量辐射图下降,反之,对最强应答器,磁通升高将提升标称条件下的最高射频能量辐射图。同理,温度导致的参考电流增大将导致最弱应答器最大电流提升相同数值;温度导致的参考电流减小将导致最强应答器最小电流降低相同数值。

时间刻度应通过公式(G.2)确定:

$$t = \frac{x}{v} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中:

v ——模拟的车速(制造商提供)。

下列情况为最小应用:

- a) 自 20 km/h 起,以 50 km/h 为步长,到达 350 km/h,以及制造商给定的每种横向偏移条件下的最高速度,在 C.4 定义的全部天线高度下进行;
- b) 低速条件(约 10 km/h)在最小高度进行,无横向偏移。

图 G.4 中计算 $I_{(x)}$ 的算法在 G.4.3 中举例说明。

G.4.2 时变信号波形生成示例

时变信号波形生成示例见图 G.4、图 G.5。

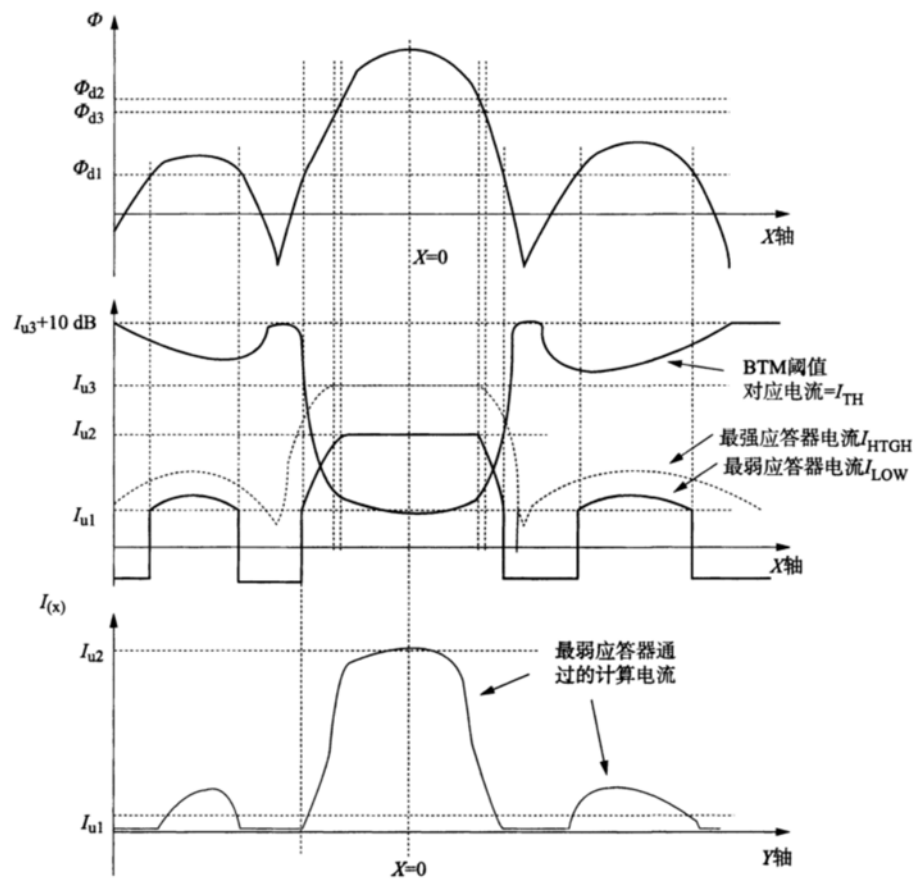


图 G.4 信号波形生成示例(位置相关的事件)

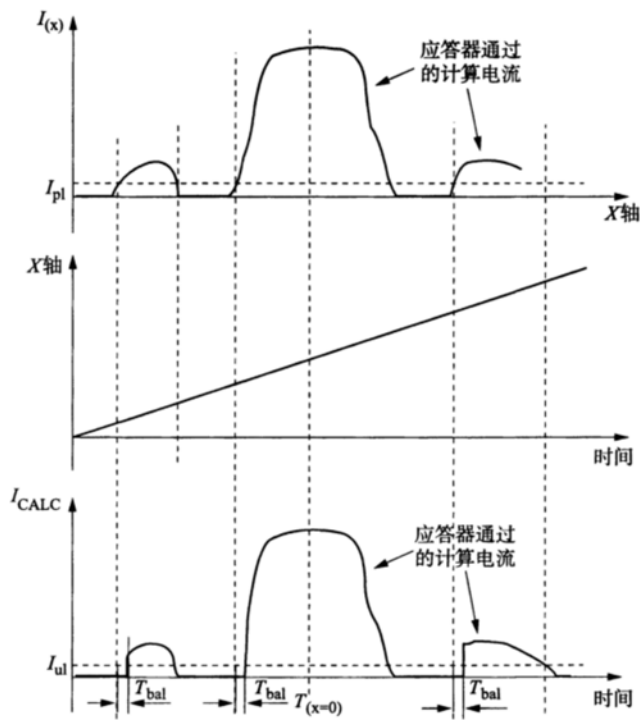


图 G.5 信号波形生成示例(时间相关的事件)

I_{p1} 是磁通量超过 Φ_{d1} 的时间点的电流幅值,通常,在磁通量超过 Φ_{d1} 的时间点后加入一段延时 T_{bal} ,然而,由于该延时缩短了接触长度,仅在探测最弱应答器能力方面可能存在影响。处理最强应答器时,关注点在串扰,生成最强应答器波形时忽略 T_{bal} 的相关作用。

G. 4.3 时变信号生成算法示例

时变信号生成算法示例见图 G. 6、图 G. 7。

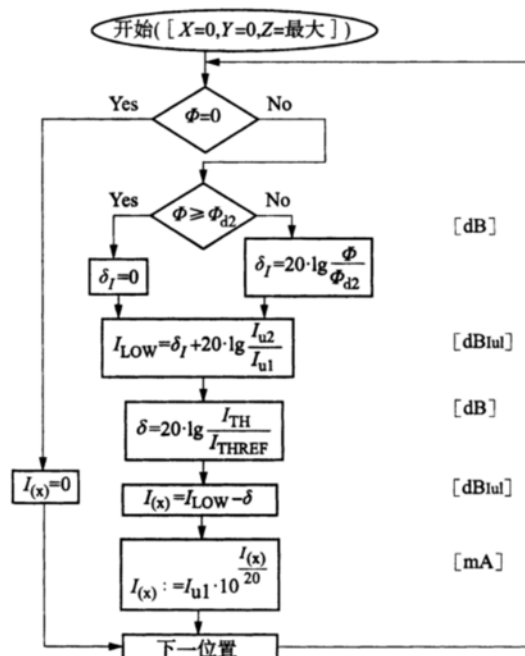


图 G. 6 最弱应答器信号波形生成算法

图 G. 6 仅进行原理性说明,算法仅处理图 G. 4 中位置相关事件,同时应考虑温度变化的余量。图右侧注明了单位。

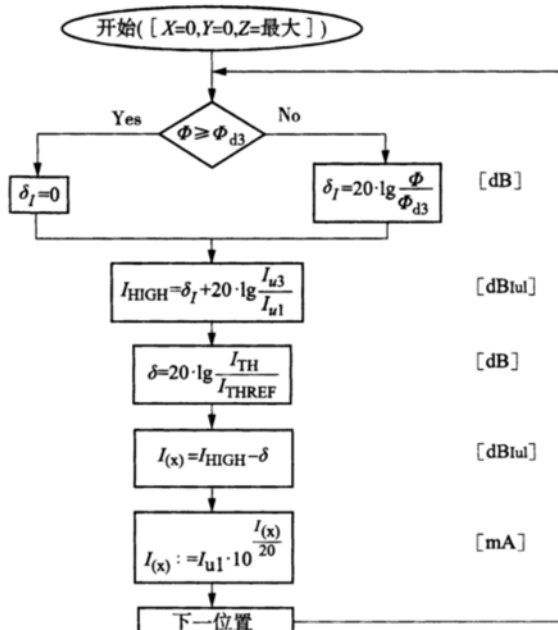


图 G. 7 最强应答器信号波形生成算法

图 G.7 仅进行原理性说明,算法仅处理图 G.4 中位置相关事件,同时应考虑温度变化的余量。图右侧注明了单位。

G.5 传输测试

G.5.1 概述

测试目标为检验模拟动态条件下天线单元及 BTM 关于应答器探测、可靠数据传输、旁瓣管理以及准确定位的能力,是系统动态测试,测试中将应用可能的最强及最弱信号。

应答器探测定义为:当接收的应答器场强高于阈值 V_{th} 达到最小时间段 T_{DET} (T_{DET} 可因速度而变)。可靠数据传输意味着关注一段额外时间 T_{REL} (获得多条有效报文)以保证可靠传输。

产生上行链路信号的参考环的输入信号应符合 G.4 中的要求。选择适当的时间刻度以符合待测试的速度,速度为从 20 km/h 起以 50 km/h 步长增加,直至横向偏移(Y轴)对应的最大速度,同时,应选择对应的里程输入信号。

对每个仿真案例(模拟不同的横向偏移和垂直高度),应通过接口 V1 接收和评估 BTM 输出信号。BTM 设置为常规工作模式。

判断天线单元和 BTM 能够正确处理某一应答器序列的标准是 BTM 能够报告正确的报文、该序列中正确的应答器定位、充裕的可靠数据传输时间,并满足 BTM 报告时间需求。

为判别所报告应答器定位信息的正确性,应答器仿真应精确的布置(到选定参考点的精确距离)于各测试序列的“虚拟测试线”中。每个序列的评判由实验室测试管理系统(LTMS)控制。LTMS 将依据应答器的预定位置和选定的车速,离线将位置相关的应答器信号波形转化为时间相关的信号波形序列(见图 G.5),之后加载全部相关数据到任意信号发生器,最后查看 LTOM 发来的实时里程数据。当里程达到每个应答器启动点时,LTOM 向任意信号发生器发送一个触发脉冲。BTM 报告的应答器中心位置将通过仿真序列的参考位置进行检验。

使用 G.1 中列明的全部测试条件,C.6 对测试位置做了部分精简。

测试中天线定位于参考点和标称环境条件下实现,特殊测试条件的应用通过对应于实际测试条件的辐射图进行仿真实现。

G.5.2 测试过程

测试设备连接见 G.2.2。

测试过程如下:

- 对每个独立的测试案例(C.4、C.6 及 G.1.2 所列),使用 G.3.2 中获得的辐射图数据计算图 G.4 示例的位置相关的曲线(得到 $I_{(x)}$),根据被测天线单元的参考位置进行适当的缩放,使用 G.4.1 中的公式(G.2)按图 G.5 示例(得到 I_{CALC})计算最弱应答器的波形。计算时使用车速为 26 km/h。
- 将天线单元定位于 $[X=0, Y=0, Z=\text{最大高度(制造商给定)}]$ 位置(即辐射图评估中的参考位置)。BTM 设置在常规工作模式,应用标称测试条件(见 G.1.1)。
- 设置 RF 开关在位置 P1。
- 按照 26 km/h 车速设置时间和里程数据(由 LTOM 提供),系统相关设置中可能存在对某些性能的限制,如加速度等。
- 设置任意信号发生器产生标称 FSK 上行链路信号,使用步骤 a)生成的时间相关波形。调整 RSG_1(用于后续的仿真应答器通过)的输出幅度,以使后文定义的两个点获得正确的幅值(± 0.3 dB 之内)。矢量信号分析仪进行幅值测量的窗口持续时间应为 $2.4 \text{ ms} \pm 0.25 \text{ ms}$,且该持续时间不超过相当于 20 mm 距离的运行时间。使用矢量信号分析仪测试该电流,电流感应巴伦的传输响应参见 J.5.4。使用参考环的 B 参数修正矢量信号分析仪测试的电流(即测量目标电流应为期望的参考环电流除以 B)。上行链路曲线幅值应在下列各点进行检查:
 - 计算得到曲线中峰值电流出现的时刻;

- 2) 靠近电流超过接收阈值(在天线单元的参考位置测得)1 dB(但不低于门限加 0.5 dB)的时间位置。应选用作用区中心之后的第一个符合上述要求的时间位置。

注:如果满足所有位置的目标存在困难,靠近接收阈值的位置优先。如果不能满足全部目标,测试报告应予以记录,并明确测试环境搭建存在缺陷。

- f) 依照 G.4.1 中公式(G.2)、定义的车速、图 G.5 示例,重新计算用于测试的时间相关曲线。
- g) 按待测车速(依 G.4.1 及 BTM 制造商给定)设置时间和里程输入数据(由 LTOM 提供),系统相关设置中可能存在对某些性能的限制,如加速度等。
- h) 使用上面确定的数据(时间相关曲线)执行至少 10 次序列扫描,记录 BTM 输出(通过接口 V1),同时记录 LTOM 提供的参照位置数据。在每个应答器通过仿真中,用矢量信号分析仪测量并记录上行链路电流峰值,用于监视可能发生的由 RSG_1 漂移引起的、峰值小幅超出公差情况;
- i) 对 G.4.1 定义的所有其他速度,重复步骤 f) 至步骤 h)。
- j) 对 C.4、C.6 中所有剩余纵向范围、横向偏移及高度(制造商给定)的组合重复步骤 a) 至步骤 i) 或步骤 f) 至步骤 i),天线单元物理位置及参考环不变。
- k) 对 G.1.2 及 C.6 中定义的所有剩余特殊测试条件重复步骤 a) 至步骤 i) 或步骤 f) 至步骤 i)。天线单元的物理位置和参考环不变,无杂物及金属物。

注:

离线确认射频能量信号不影响通过参考环驱动的实际上行链路信号;

步骤 e) 仅需在参考位置进行,以确认可能存在的测试环境缺陷;

步骤 h) 中电流峰值的测试时间窗相当于当前速度下运行 20 mm 所需的时间。

操作者可向 LTMS 输入参数“接口 V1 延迟时间”,该参数表征 BTM 报告(主要考虑“BALPASS”数据包)通过接口 V1 的传输延时,主要包括 BTM 报告在接口适配器有效的时刻起,至相应信息在 LTMS 上层程序有效的时刻之间的时间,该时间(约 1 s ~ 2 s)不需特别精确。

对一次模拟应答器通过,LTMS 执行下列步骤:

- a) 清除接口 V1 的报告列表及 LTOM 标记列表(可能由之前的仿真产生),之后向 RSG 发送触发信号。
- b) 等待 RSG 应答。当接收到应答后,等待一个时间窗,时间窗长度确定为: $RSG_delay(RSG \text{ 延迟}) + interface_V1_delay(接口 V1 \text{ 延迟}) + 1.3 \text{ m/speed}(1.3 \text{ m/速度}) + 100 \text{ ms}$ 。

注:LTMS 时间精度为 100 ms ~ 200 ms。

- c) 时间窗结束后,使用 LTOM 提供的应答器中心标记数据作为参考,检查通过接口 V1 收到的所有报告的有效性。注意 LTOM 数据即使在 500 km/h 速度下仍然很精确。BTM 报告检查包括至少每个应答器至少包含一条报告,用户报文正确,有效报文数量充足,“BTM 报告时间”有效以及定位数据(体现为时间和/或里程方式)准确。在存在多条报告的情况下,LTMS 累计每条报告中的报文数目,并用于判定测试结果。检查过程同时检查每条报文数目不为零的报告中用户报文的有效性。接口 V1 表中出现的所有报告都需进行“BTM 报告时间”检查。“BTM 报告时间”的下限为 LTOM 中心时间 - 1.3 m/速度,上限为 LTOM 中心时间 + 1.3 m/速度 + 100 ms。
- d) 等待下次应答器仿真(在模拟列车速度下),等待时间长度与应答器预设位置相关。
- e) 应答器仿真时刻到达时,首先检查前面第三条检查过的表上没有新加报告,如果出现新报告,需进行出错显示,否则从步骤 a) 重新开始测试。

G.5.3 合格判据

本节测试通过条件是 BTM 能够正确接收仿真序列中的应答器信息,即正确报告下列属性:

- a) 报文;
- b) 定位。

应检查在 BTM 数据传输的不同域间存在的逻辑一致性。报告缺失或错误报告意味着应答器不能被接收。对低速条件,BTM 可在每个 100 ms 内进行报告,此情况下,应使用每个应答器通过仿真的最后一条报告进行验证。

在应答器通过仿真(考虑所有的相关延迟)之外非正常给出的 BTM 报告应记为 BTM 故障。

G.6 射频能量信号电气特性

G. 6.1 概述

测试目标为系统地评估天线单元 - BTM 组合发出的射频能量信号的性能。测试内容为信号的特性,如载频频率及载频噪声。

输出信号应在静态条件连续波模式下测试,使用参考环对输出信号进行测试。

BTM 应通过接口 V1 输入的命令,配置于常规工作模式。

几何测试点和测试条件见 C. 7. 1 和 C. 7. 2。

G.6.2 测试设备连接

宜按图 G.8 连接测试设备,图中编号 35、36、37 由计算机中的 LTMS 系统控制(计算机控制未在图中指明)。

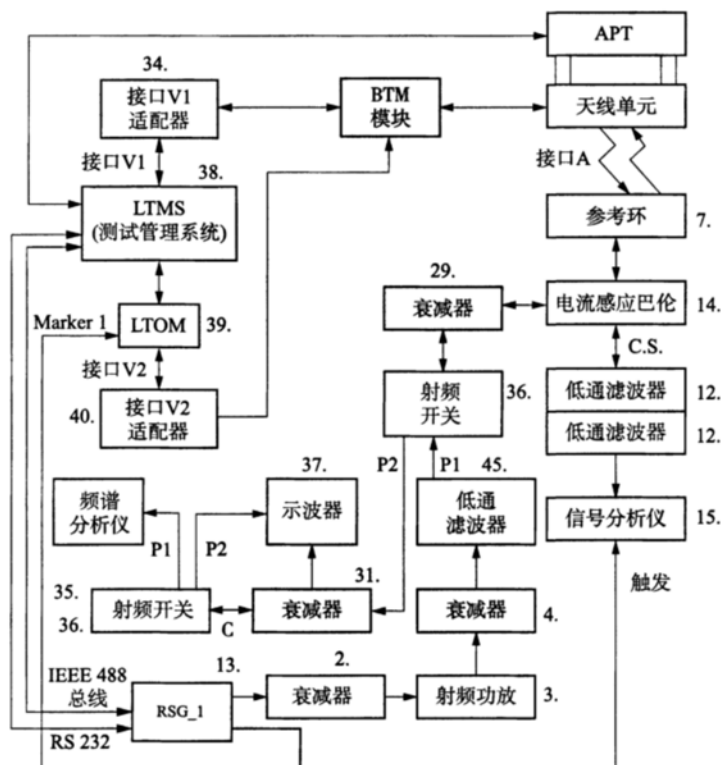


图 G.8 射频能量校验测试连接

G. 6.3 测试过程

测试过程如下：

- a) 天线单元定位在 $[X=0, Y=0, Z=\text{标称高度}]$ 。
- b) 设置射频开关以使信号从参考环连接至频谱分析仪。
- c) 命令 BTM 进入常规工作模式或任何其他等效模式(从射频能量角度评估), 射频能量为连续波。
- d) 测试并记录下列射频能量信号的相关属性:
 - 1) 27.095 MHz 场的中心频率;
 - 2) 27.095 MHz 场的载波噪声。
- e) 在低温极限和高温极限条件下重复进行步骤 a) 至步骤 d)。

频谱分析仪应设置如下:

- 中心频率为 27.095 MHz;
——频率扫描为 ± 100 kHz;

——分辨率带宽为 100 Hz;

——视频带宽为 100 Hz。

使用频谱分析仪 100 Hz 分辨率带宽测试的载频噪声应比载频低 90 dB 以上,评估载频噪声应在频率范围 $f_c - 100 \text{ kHz} \sim f_c - 10 \text{ kHz}$ 和 $f_c + 10 \text{ kHz} \sim f_c + 100 \text{ kHz}$ 内执行,寄生频率信号不应高于 -90 dBc 。

G. 6.4 合格判据

射频能量信号为连续信号,磁场频率为 $27.095 \text{ MHz} \pm 5 \text{ kHz}$ 。当频偏不小于 10 kHz 时,载波噪声应小于 -110 dBc/Hz 。

G. 7 最大磁通量

G. 7.1 概述

测试目标是系统地评估天线单元与 BTM 联合发送的射频能量信号的性能。

使用参考环测量输出信号,在静态条件下进行评估,最大磁通量测试中参考环应经受不同负载条件。

通过接口 V1 输入适当命令使 BTM 进入应用模式。

几何测试点及应用测试条件在附录 C. 7.1 和附录 C. 7.2 中给出。

最大磁通量测试应通过不同负载条件下的参考环在不同几何测试点判定磁通量值。三个不同负载条件为: $40 \Omega (60 \Omega)$ 、 $j40 \Omega (j60 \Omega)$ 、 $-j40 \Omega (-j60 \Omega)$,括号内数值适用于大尺寸参考环。几何测试点在 C. 7.2 中给定。

负载偏差应符合下面要求:

- 阻性负载实部为 $\pm 2 \Omega$;
- 阻性负载的虚部为 $\pm j2 \Omega$;
- 电抗性负载的实部(对大尺寸参考环)为 $3 \Omega \sim 5.5 \Omega$;
- 电抗性负载的实部(对标准尺寸参考环)为 $2 \Omega \sim 4.5 \Omega$;
- 电抗性负载的虚部为 $\pm j2 \Omega$ 。

G. 7.2 测试设备连接

测试设备连接见图 G.9,图中编号 10 由计算机(实验室测试管理系统)控制(图中未列明计算机控制)。

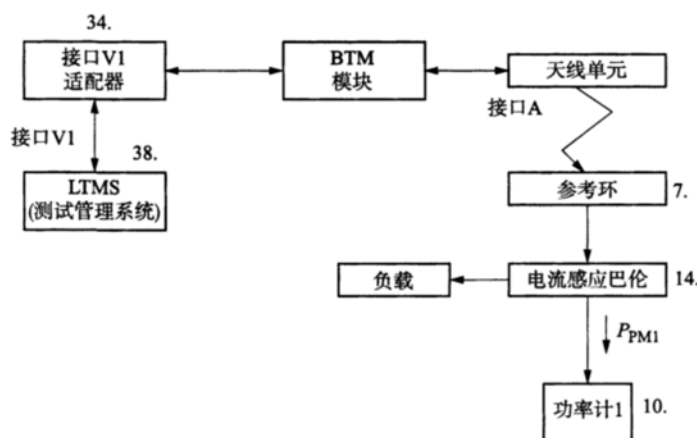


图 G.9 最大磁通量测试连接

G. 7.3 测试过程

测试过程如下:

- 确认电流感应巴伦经过校准,校准过程参见 J. 5.5;
- 参考环连接电路总阻抗为 40Ω (大尺寸参考环时为 60Ω) 的负载(即参考环阻抗与外部阻抗及电流感应巴伦阻抗的和为 40Ω 或 60Ω),参考环阻抗应分别测量,总阻抗为计算得到,总阻

- 抗标定过程应在最大磁通量测试前完成;
- c) 将天线单元定位于几何测试点 [$X=0, Y=0, Z=\text{最小高度}$];
 - d) 命令 BTM 进入常规工作模式或任何其他等效模式(从最大磁通量测试角度评估), 射频能量模式为连续波;
 - e) 记录功率计 1 的功率值(P_{PM1});
 - f) 按公式(G.3)计算通过参考环的磁通量;

$$\Phi = \frac{\sqrt{P_{PM1}} \times B \times (Z_{load} + Z_{loop})}{2\pi f_{27} \sqrt{k \times |Z_A|}} \dots\dots\dots (G.3)$$

式中:

- P_{PM1} —— 功率计 1 读数, 单位为瓦特(W);
- B —— 参考环传输匹配比;
- Z_{loop} —— 无天线存在的环境中参考环的实际阻抗;
- Z_{load} —— 参考环连接的外部阻抗;
- f_{27} —— 射频能量信号频率(27.095 MHz);
- k —— 电流感应巴伦的传输系数(参见 J.5.5);
- Z_A —— 衰减器的输入阻抗(参见 J.5.5)。
- g) 对 C.7.2 中定义的其他测试点重复进行步骤 e) 和步骤 f);
- h) 参考环连接总电路阻抗 $j40 \Omega$ ($j60 \Omega$) 的负载, 重复步骤 b) 到步骤 g);
- i) 参考环连接总电路阻抗 $-j40 \Omega$ ($-j60 \Omega$) 的负载, 重复步骤 b) 到步骤 g);
- j) 在 G.1.2.3 定义的特殊条件“参考环下面的金属平面”下, 重复步骤 b) 至步骤 i)。

测试过程中构成电路总负载的实际负载值, 是连接到参考环的外部负载、电流感应巴伦的影响及实际参考环阻抗的和。参考环阻抗应分别测量, 总阻抗为计算得到, 总阻抗标定过程应在最大磁通量测试前完成。

G.7.4 合格判据

要求测得的磁通量值不超过 Φ_{d4} 。

G.8 上行链路信号电气特性

G.8.1 概述

测试目标为系统地评估 BTM 处理电气特性在极端情况下(例如中心频率、频偏、数据速率、相位抖动和幅度抖动等)的上行链路信号的能力。使用任意信号发生器生成相应的测试波形, 测试各项属性(上行链路信号偏差)。

发送上行链路信号的参考环的输入信号为具备上面描述的极端 FSK 信号, 为模拟应答器通过需按 G.4 中要求进行附加调制。G.3 和 G.4 获得的数据将用于创建应答器通过仿真信号。BTM 设置在常规工作模式。

使用有限数量的横向偏移和垂直高度的组合条件(见 C.7.2)。BTM 的输出信号通过 V1 接口监督和评估。

BTM 及天线单元能正确处理某特定序列的要求, 见 G.5.1。

测试条件见 C.7.1。

G.8.2 测试过程

测试设备连接见 G.2.2。

任意信号发生器应产生适配的测试信号以模拟下列上行链路信号的极端情况:

- a) 中心频率为 $4.234 \text{ MHz} \pm 175 \text{ kHz}$;
- b) 频率偏移为 $282.24 \times (1 \pm 7\%) \text{ kHz}$;
- c) 平均数据速率为 $564.48 \times (1 \pm 2.5\%) \text{ kbit/s}$;

- d) TB/T 3485—2017 中要求的 MTIE 需求 1 和需求 2 的极限值；
- e) 幅度抖动为 +1.5 dB ~ -2.0 dB。

测试信号设计应符合 D.6 中定义的应答器上行链路信号测试,每次测评上面列明的一个主要方面,适用于启动和平稳区。

在 FSK 信号调制、几何测试点选择和测试条件以外,测试过程与 G.5.2(传输测试)相同。

几何测试点及测试条件见 C.7.1 和 C.7.2。

G.8.3 测试案例

测试案例见表 G.1。

表 G.1 BTM 接收上行链路信号电气特性测试案例

案 例	参 数				
	中心频率	频率偏移	平均数据速率	MTIE	幅度抖动
案例 1	4.409 MHz	标称	标称	标称	标称
案例 2	标称	302.0 kHz	标称	标称	标称
案例 3	标称	标称	578.6 kbit/s	标称	标称
案例 4	标称	标称	标称	MTIE2 极限值	标称
案例 5	标称	标称	标称	标称	+1.5/-2.0 dB
案例 6	4.059 MHz	标称	标称	标称	标称
案例 7	标称	262.4 kHz	标称	标称	标称
案例 8	标称	标称	550.4 kbit/s	标称	标称
案例 9	标称	标称	标称	MTIE1 极限值	标称

各参数的标称值见 G.1.1.2。

测试波形需考虑 RSG/LRRT 及测试连接的其他部分潜在的精度问题,以使参数不超过规定的限值。接口特性使用 4.2 MHz 天线(用于应答器测试)检验。

G.8.4 合格判据

见 G.5.3。

G.9 串扰免疫

G.9.1 概述

串扰测试检验在 G.1 定义的测试条件和预定的几何区域内是否存在潜在的串扰情况,并判定串扰余量。

使用参考环测量射频能量磁通量,记录的磁通量值将用于利用 TB/T 3485—2017 中定义的传输响应曲线上限确定最强(最不利条件)应答器(I_{HIGH})。参考环连接到信号发生器发送 FSK 上行链路信号以模拟一个典型的应答器通过事件(见图 G.10),携带一条正确报文,峰值电流采用上面确定的 I_{HIGH} 。在接口 V1 上观察 BTM 输出响应,要求无应答器探测报告,之后,逐渐提高峰值电流幅值直到发生应答器探测事件,或直到峰值电流达到 $I_{u3} + 20$ dB。过程与 G.3.1 讲述的方法类似,差别是电流幅值提升到最大峰值 $I_{u3} + 20$ dB,以定量地测试评估串扰余量。

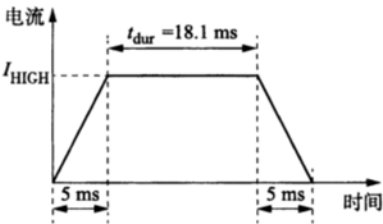


图 G.10 串扰测试上行链路信号

时间 t_{dur} 应依照传输十组完整 1 023 位报文(即 10 230 位报文长度)确定,里程表输入信号按照上图形序列平直部分对应 100 km/h 车速下的 0.5 m 距离确定(自上升沿起始至下降沿结束的整个序列大约对应 0.78 m 距离)。

在 C.5 列明的全部几何位置、对经 C.6 适度裁剪、G.1 中定义的全部测试条件,完成测试过程。

G.9.2 测试过程

测试设备连接见 G.2.2。

测试过程如下:

- 天线单元定位在 C.5 定义的第一个几何测试点,应用 G.1.1 定义的标称测试条件;
- 将射频开关置于 P2 位置;
- 使 BTM 进入常规工作模式或任何其他等效模式,射频能量为连续波;
- 记录功率计 2 读数;
- 对 C.5 定义的其他几何测试点重复步骤 d);
- 使用 G.3.2 给定的公式计算所有几何测试点的磁通量;
- 按 G.9.1 确定相应最不利条件(最强)的应答器响应(I_{HIGH});
- 设置射频开关于 P1 位置;
- 设置任意信号发生器产生符合图 G.10 要求的上行链路信号,初始电流设为 I_{u3} ,该电流信号通过矢量信号分析仪监测,电流感应巴伦传输响应参见 J.5.4,矢量信号分析仪测定该电流时,需使用参考环 B 参数进行修正(即测试目标电流应为参考环电流除以 B)。设置时间和里程表信息对应车速 100 km/h;
- 将天线单元定位在 C.5 定义的第一个几何测试点,使用 G.1.1 定义的标称测试条件;
- 记录 BTM 输出(通过接口 V1),确定是否发生应答器探测事件,即有无应答器探测或应答器定位报告;
- 未发生应答器探测事件情况下,按 0.5 dB 步长提升峰值电流,直到应答器探测事件发生或电流达到 $I_{u3} + 20$ dB。重复步骤 k) 及步骤 l) 直到串扰余量测定完成;
- 对 C.5 和 C.6 定义的其他几何测试点重复步骤 k) 及步骤 l),对不同测试点选择适用的 I_{HIGH} ;
- 对 G.1.2 及 C.6 定义的所有特殊测试条件重复步骤 a) 至步骤 m),在每种条件测试时将步骤 a) 中的“标称条件”更换为相应“特殊条件”。

G.9.3 合格判据

要求无串扰发生。

对于串扰余量没有明确的要求,但定义的测试过程能够测量该余量。串扰余量的评估按 TB/T 3485—2017 定义分两种情况实行。

G.9.3.1 单个应答器与单个天线单元

此串扰余量的评估适用于横向偏移 1 400 mm 或更远。

串扰余量(单位 dB)按公式(G.4)判定。

$$\text{Margin} = \begin{cases} 20\lg \frac{I_{CT}}{I_{u3}} + 20\lg \frac{\Phi_{d3}}{\Phi}, & \Phi \leq \Phi_{d3} \\ 20\lg \frac{I_{CT}}{I_{u3}}, & \Phi > \Phi_{d3} \end{cases} \dots\dots\dots (G.4)$$

式中:

Margin——串扰余量,单位为分贝(dB);

I_{CT} ——发生串扰时的实际电流,单位为毫安(mA);

I_{u3} ——依照应答器传输特性定义,单位为毫安(mA);

Φ_{d3} ——依照应答器传输特性定义,单位为纳韦伯(nWb);

Φ ——对应几何位置的实际磁通量,单位为纳韦伯(nWb)。

G.9.3.2 单个应答器与两个天线单元

此串扰余量的评估适用于横向偏移 3 000 mm 或更远,以及天线单元制造商给定的纵向偏移量。

串扰余量(单位 dB)按公式(G.5)判定。

$$\text{Margin} = 20 \cdot \lg \frac{I_{\text{CT}}}{I_2} \dots\dots\dots (\text{G. 5})$$

式中:

Margin——串扰余量,单位为分贝(dB);

I_{CT} ——发生串扰时的实际电流,单位为毫安(mA);

I_{u3} ——依照应答器传输特性定义,单位为毫安(mA)。

G. 10 电缆串扰免疫

G. 10.1 概述

测试分为下列两部分内容：

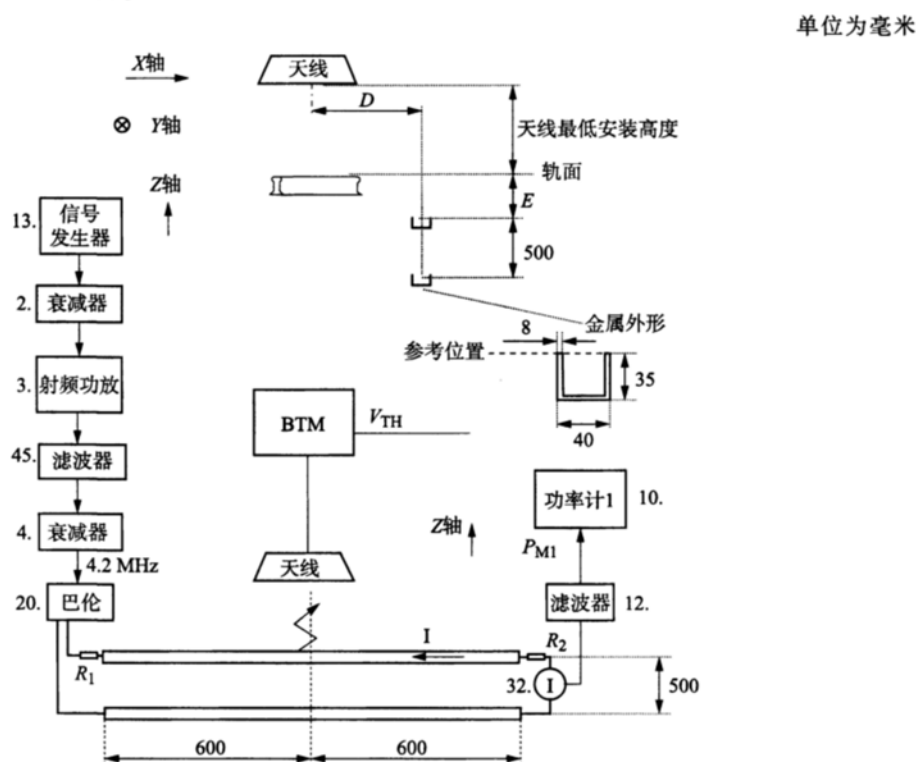
- 从电缆到天线的上行链路串扰；
- 从天线到电缆的射频能量串扰。

如无明确说明,距离单位为 mm。

G. 10.2 串扰测量

G. 10.2.1 电缆至天线单元的上行链路串扰测试设备连接

宜按图 G.11 连接测试设备。



G.11 电缆至天线单元上行链路串扰测试连接

G. 10.2.2 天线至电缆射频能量串扰测试设备连接

宜按图 G.12 连接测试设备。

G. 10.2.3 电缆到天线单元的上行链路串扰测试过程

电阻 R_1 应为 $350\ \Omega$, 电阻 R_2 应为 $400\ \Omega$ 。距离 D 表示 X 方向位置, 范围为 $-1\ 000\ \text{mm} \sim 1\ 000\ \text{mm}$ 。

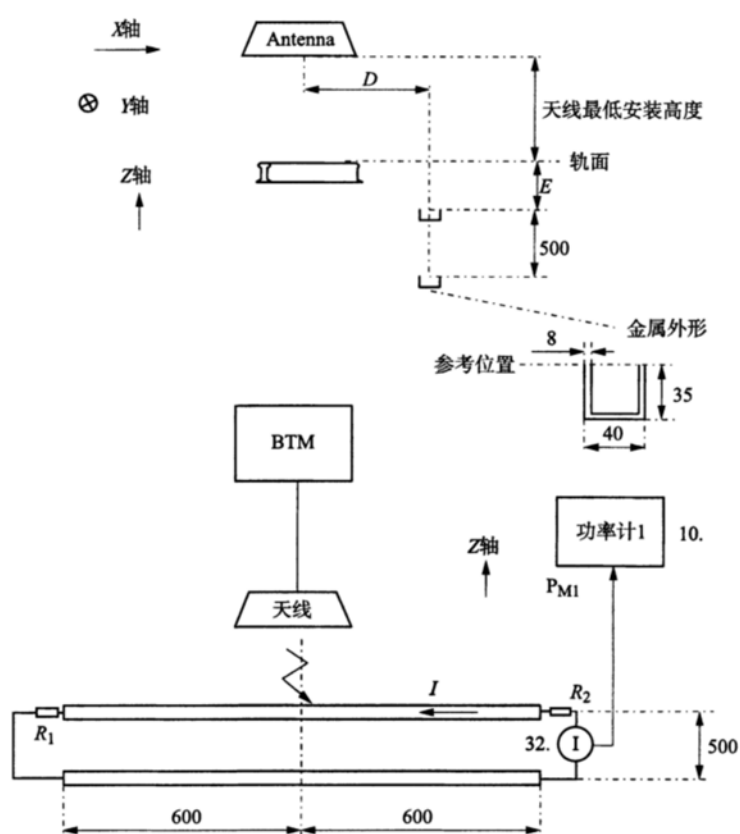


图 G. 12 天线单元至电缆射频能量串扰测试连接

本测试测量由通以 2 mA 和 10 mA 电流(分别对应 $E = 93$ mm 和 $E = 493$ mm)的电缆在天线产生的信号。

测试过程如下:

- 天线定位在 $D = -1\,000$ mm、 $E = 93$ mm 位置, BTM 设置为常规工作模式;
- 设置信号发生器产生携带报文类型 1(见 B. 2)的 4.2 MHz FSK 信号, 电流“ I ”为 2 mA。建议的电流探头在通过 1 mA 电流时将在 50 Ω 负载上产生 1 mV 电压, 通过公式(G. 6)计算电流;

$$I = \sqrt{P_{M1} \times 50} \dots\dots\dots (G. 6)$$

式中:

I ——电流值, 单位为安培(A);

P_{M1} ——功率值, 单位为瓦特(W)。

- 监视接口 V1 输出数据, 校验天线单元响应低于阈值 V_{th} (由 BTM 功能确定), 即无应答器探测、应答器定位报告;
- 调整天线位置, 以 +40 mm 为步长, 直到距离 $D = 1\,000$ mm, 在每个位置, 检验天线单元响应低于 V_{th} ;
- 天线单元定位在 $D = -1\,000$ mm 和 $E = 493$ mm;
- 设置信号发生器产生携带报文类型 1 的 4.2 MHz FSK 信号, 电流“ I ”为 10 mA;
- 监视接口 V1 输出数据, 校验天线单元响应低于阈值 V_{th} (由 BTM 功能确定), 即无应答器探测、应答器定位报告;
- 调整天线位置, 以 +40 mm 为步长, 直到距离 $D = 1\,000$ mm, 在每个位置, 检验天线单元响应低于 V_{th} 。

G. 10.2.4 天线单元到电缆的射频能量串扰测试过程

电阻 R_1 、 R_2 应为 $400\ \Omega$, 距离 D 表示 X 方向位置, 范围为 $-1\ 000\ \text{mm} \sim 1\ 000\ \text{mm}$ 。本测试测量电缆从天线单元(对应 $E = 93\ \text{mm}$ 和 $E = 493\ \text{mm}$)感应到的信号。

测试过程如下:

- 天线定位于 $D = -1\ 000\ \text{mm}$ 及 $E = 93\ \text{mm}$;
- BTM 设置为常规工作模式, 或其他与此等效的模式;
- 记录功率计 1 读数, 计为 $P_{27\text{IACH}}$;
- 调整天线位置, 以 $+40\ \text{mm}$ 为步长, 直到距离 $D = 1\ 000\ \text{mm}$ 。在每个位置, 记录功率计 1 读数, 计为 $P_{27\text{IACH}}$;
- 天线定位于 $D = -1\ 000\ \text{mm}$ 及 $E = 493\ \text{mm}$;
- 记录功率计 1 读数, 计为 $P_{27\text{IACL}}$;
- 调整天线位置, 以 $+40\ \text{mm}$ 为步长, 直到距离 $D = 1\ 000\ \text{mm}$, 在每个位置, 记录功率计 1 读数, 计为 $P_{27\text{IACL}}$;

测试结果为两组 $P_{27\text{IACH}}$ 数据和一组 $P_{27\text{IACL}}$ 数据, 计算每组数据最大值对应的电流值, 分别称为 $I_{27\text{ACH}}$ 和 $I_{27\text{ACL}}$ 。对建议的电流探头, $1\ \text{mA}$ 输入电流将在 $50\ \Omega$ 负载上产生 $1\ \text{mV}$ 电压, 通过公式 (G. 7)、公式 (G. 8) 计算电流。

$$I_{27\text{ACH}} = \sqrt{P_{27\text{IACH}} \times 50} \dots\dots\dots (\text{G. 7})$$

$$I_{27\text{ACL}} = \sqrt{P_{27\text{IACL}} \times 50} \dots\dots\dots (\text{G. 8})$$

电流 $I_{27\text{ACH}}$ 应低于 $25\ \text{mA}$; 电流 $I_{27\text{ACL}}$ 应低于 $10\ \text{mA}$ 。

G. 11 应答器探测能力监督

G. 11.1 概述

可采用动态方式执行测试, 此时需要时间和里程信息。天线安装条件由制造商指定。

测试使用 G. 1.2.3 规定的“轨道金属物”代替参考环, 天线单元应首先放置在轨道金属物的正上方 ($[X=0, Y=0]$), 高度为制造商指定的最小高度, 本测试中无其他杂物或金属物。

如果没有给出告警信号, 需逐步增加距离 d (见 G. 1.2.3), 每次增加 $20\ \text{mm}$, 直到给出告警信号。如果已经给出告警信号, 则减少距离 d , 其他步骤一样。

G. 11.2 合格判据

天线单元高度高于制造商指定高度时, 无告警信号。

G. 12 各类报文处理

G. 12.1 概述

目标为系统地评估 BTM 对各种类型报文的处理能力 (包括报文切换)。

发送上行链路信号的参考环的输入信号应符合 G. 4 测试结果, 选择合适的时间尺度, 以满足待测横向偏差下 (Y 方向) 制造商给定的最大速度 (除低速情况下报文切换测试), 选取相应里程输入信号, BTM 设置为常规工作模式。

使用 C. 7.2 规定的横向偏差和垂直高度组合, 通过接口 V1 观察和评估 BTM 输出信号。

判断天线单元和 BTM 能够正确处理某一应答器序列的标准是 BTM 能够报告正确的报文、该序列中正确的应答器定位、充裕的可靠数据传输时间, 并满足 BTM 报告时间需求。

使用 C. 7.1 规定的测试条件。

使用 B. 2 规定的测试报文, 报文切换应测试高速和低速 (作用时间超过 $100\ \text{ms}$) 两种情况。

G. 12.2 测试过程

测试设备连接见 G. 2.2。

对 B. 2 中所列的各类报文开发相应的测试波形, 供任意信号发生器进行传输, 每次测试只评估一条报文, 报文切换在高速下和低速下均进行测试。

除 FSK 信号、测试点和测试条件的选择有所不同外,其余测试步骤与 G. 5. 2(传输测试)相同。

几何测试点和测试条件见 C. 7. 1 和 C. 7. 2。

G. 12. 3 合格判据

见 G. 5. 3。

G. 13 应答器序列处理

G. 13. 1 概述

测试目标为验证 BTM 能正确报告应答器组中的应答器序列,BTM 为常规工作模式。

发送上行链路信号的参考环的输入信号应符合 G. 4 测试结果,由连续八个标准尺寸的应答器组成,应答器之间的距离为规定的最小距离。选择合适的时间尺度,以满足待测横向偏差(Y 方向)下制造商给定的最大速度,里程输入信号同理选取,八个应答器从 B. 2 中选取不同内容的报文和不同长度的报文。

使用有限的横向偏差和垂直高度的组合。通过接口 V_1 观察和评估 BTM 输出信号。

判断天线单元和 BTM 能够正确处理某一应答器序列的标准是 BTM 能够报告正确的报文、该序列中正确的应答器定位、充裕的可靠数据传输时间,并满足 BTM 报告时间需求。

几何测试点和测试条件见 C. 7. 1 和 C. 7. 2。

G. 13. 2 测试过程

测试设备连接见 G. 2. 2。

应开发携带有不同报文的八个标准尺寸应答器的测试波形,供任意信号发生器进行传输,报文顺序如下:

- a) 应答器 1 – 报文类型 8;
- b) 应答器 2 – 报文类型 1;
- c) 应答器 3 – 报文类型 9;
- d) 应答器 4 – 报文类型 2;
- e) 应答器 5 – 报文类型 10;
- f) 应答器 6 – 报文类型 3;
- g) 应答器 7 – 报文类型 11;
- h) 应答器 8 – 报文类型 4。

除 FSK 信号、测试点和测试条件的选择不同外,其余测试步骤与 G. 5. 2(传输测试)一致。应答器波形应进行额外调制,以模拟列车通过,波形定义见 G. 4。模拟最高速度为 180 km/h 时相邻应答器中心点之间的距离为 2.3 m,模拟最高速度为 300 km/h 时相邻应答器中心点之间的距离为 3.0 m,模拟最高速度为 300 km/h 以上时相邻应答器中心点之间的距离为 5.0 m。

几何测试点和测试条件见 C. 7. 1 和 C. 7. 2。

G. 13. 3 合格判据

见 G. 5. 3,且应答器顺序不发生混乱。

G. 14 基本接收机解码功能

G. 14. 1 概述

采用 B. 3 中定义的特定测试报文,验证接收机解码功能。

B. 3 中的测试报文长度为 1 023 位或 341 位,所有测试报文应循环传输,报文最末比特至第一比特之间没有间断。

测试报文中的两个为有效的反转报文,基本接收机应拒绝其他六个测试报文。

发送上行链路信号的参考环的输入信号应符合 G. 4 测试结果,选择合适的时间尺度,以满足待测横向偏差(Y 方向)下制造商给定的最大速度,同理选取里程输入信号,BTM 为常规工作模式。

使用有限的几何测试点(见 C. 7. 2),通过接口 V_1 观察和评估 BTM 输出信号。

G. 14.2 测试过程

测试设备连接见 G. 2. 2。

对 B. 3 中所列的各类报文开发相应的测试波形,供任意信号发生器进行传输,每次测试应只评估一条报文。

除 FSK 信号、测试点和测试条件的选择有所不同外,其余测试步骤与 G. 5. 2(传输测试)相同。

几何测试点和测试条件见 C. 7. 1 和 C. 7. 2。

G. 14.3 合格判据

对 B. 3 中规定的测试报文,接收机应按下列要求处理:

- a) 对于 S1 报文、S2 报文,应报告正确解码的报文,或拒绝解码;
- b) 对于 S3 报文 ~ S8 报文,应拒绝解码。

附录 H

(资料性附录)

测试工具介绍

H.1 实验室时间里程模块(LTOM)说明

H.1.1 运行环境

LTOM 在如图 H.1 所示的设备环境中运行。

应答器和参考环置于设定位置。

在车载传输设备测试中,天线单元静止放置在参考环上方,参考环用于模拟接口 A 的上行链路应答器信号,使用参考信号发生器 1(RSG_1)产生动态上行链路应答器信号,尽可能逼真地模拟天线单元在每个预定位置以 0 ~ 500 km/h 速度运动时的情况。

在应答器传输系统测试中,APT 将天线在应答器上方低速前后移动,为向 BTM 功能提供实际运动条件,天线单元的交替移动被 LTOM 转化成为单方向运动,同时保证不失去对其实际位置的控制,每次移动时,应答器传输的数据均被更新。

LTOM 由实验室测试测量系统(LTMS)或操作者控制,以设置所需的操作模式及为当前测试步骤提供相关输入数据(例如,每个虚拟行程的速度模式、所模拟的应答器位置等)。LTOM 回报其当前工作状态以及所有用于评估测试结果的相关数据(如应答器中心的时间和里程坐标)。

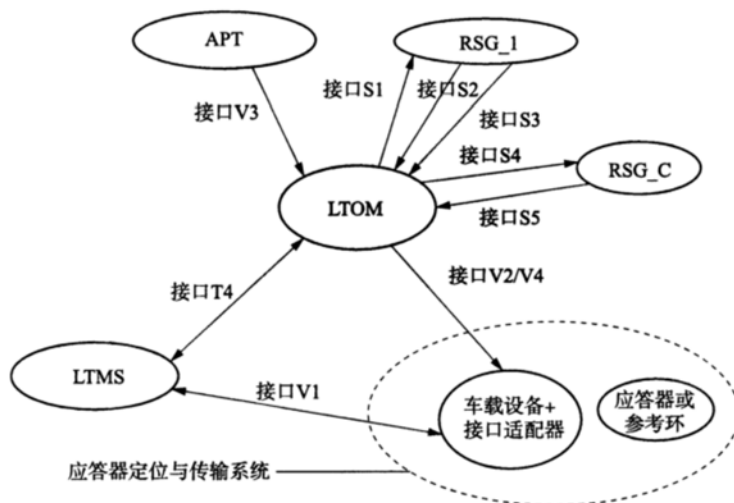


图 H.1 LTOM 运行环境

H.1.2 功能需求

H.1.2.1 基本功能

依据外部请求完成下列一项或多项基本功能：

- a) 准确产生当前的主控时间；
- b) 以预定的速度/加速度模式控制天线单元运动；
- c) 在实际低速条件下,准确测量天线当前速度与位移；
- d) 在实际或虚拟运动条件下,可靠并准确产生时间与里程坐标,以在测试中驱动 BTM 功能；
- e) 在天线低速实际运动条件下,可靠并准确产生车载设备所期望的速度传感信号；
- f) 基于位移准确产生 RSG_1 触发信号,以启动动态上行链路应答器信号的实时模拟；

- g) 基于位移准确产生 RSG_C 触发信号,以启动接口 C 的实时过车信号;
- h) 在模拟应答器通过的给定时刻,记录 RSG_1 或 RSG_C 的反馈信号,并提供当前时间戳和里程戳。

H. 1. 2. 2 工作模式

H. 1. 2. 2. 1 概述

为保持接口 V2 及接口 V4 连续给出的信息一致性,在操作模式切换时,实际运动与虚拟运动之间应相互匹配。

除 LTMS 的远程控制外,LTOM 一些基本操作应能由操作者通过恰当的人机界面控制,人机界面允许由 LTMS 发出命令进行相同的基本操作,同时以容易理解的方式,输出 LTMS 所需的信息。这种人工操作模式主要用于对测试环境和测试设备的简单确认。

H. 1. 2. 2. 2 空闲或静止模式

上电后的默认模式,或根据 LTMS 或操作者要求进入。该模式模拟了静止环境,并驱动接口 V2。

H. 1. 2. 2. 3 自检模式

通过自检程序确认工具的基本功能,宜在测试任务开始时调用,或在 LTMS 或操作者认为需要时调用。自检模式可导致 LTOM 输出中断或不连续。

H. 1. 2. 2. 4 动态模拟模式

当对车载设备进行基于位移的序列测试时需要本模式。

天线静止放置在相对于参考环的给定位置,LTOM 根据预定的速度和加速度模式模拟天线运动。根据模拟运动的当前状态估计当前时间和里程坐标,这些信息定期广播至接口 V2。LTOM 在模拟运动时,同步驱动接口 V4 信号。

LTOM 同时负责触发 RSG_1,以启动模拟按预定速度通过应答器组对应的上行链路信号,当天线到达准确的模拟位置时,开启各应答器组的模拟。在应答器组模拟过程中,RSG_1 根据每个模拟的应答器中心生成对应的标记脉冲,LTOM 记录标记脉冲(应答器中心标记),打上当前时间戳和里程戳,并尽快报告给 LTMS。本数据与 BTM 测试接口输出值类型相同且可进行比较。

为允许准备接受下一应答器组模拟,RSG_1 应在当前组的末尾生成另一个标记脉冲(应答器组末尾标记),该脉冲由 LTOM 读取,转换为适当的格式并尽快传送给 LTMS,以便 LTMS 进行下一步模拟过程所需的动作。

H. 1. 2. 2. 5 实际动态模式

用于低速、实际运动的天线时的相关测试。

LTOM 评估纵向速度,距离参考位置的当前位移以及天线运行方向,以得到当前时间和里程坐标。输入由 APT 的速度传感信号(接口 V3)提供。

LTOM 在所有可能运动中保持对天线实际位置的控制,并始终驱动接口 V2 和 V4。

LTOM 宜将转化后的数据传送至接口 V2,或者转化后的数据传送至接口 V4,即将天线的前后运动理解成为测试设备的单向运动,这就允许对连续通过应答器的情况进行模拟,而不受测试床长度限制。

在运动过程中,LTOM 也可触发部分基于位移的事件,这些事件与预定的天线位置相关(例如在应答器与天线作用过程中进行报文切换或报文插入错误)。

此外,LTOM 在预定的天线位置所产生的标记脉冲也被 LTOM 回读,打上当前的时间戳和里程戳,并报告给 LTMS 作为评估某些测试结果的参考。

LTOM 应在测试任务中的所有运动条件下始终保持对天线纵向位置的控制。

H. 1. 3 外部接口

H. 1. 3. 1 接口 T4

H. 1. 3. 1. 1 概述

接口 T4 用于在 LTMS 和 LTOM 之间交换命令与数据。

LTMS 命令用于设置 LTOM 进入所需的工作模式。

LTMS 数据用于设置给定的 LTOM 配置(例如接口 V3 或接口 V4 的参数)或用于描述测试序列所需的特殊条件(例如基于位移的速度/加速度配置文件或基于位移的启动模拟应答器组的触发信号)。

H. 1. 3. 1. 2 LTMS 向 LTOM 数据传输内容

LTMS 向 LTOM 传输的可能命令与数据如下:

- a) 复位速度与位置;
- b) 复位速度、位置、时间及模式;
- c) 本地控制;
- d) 远程控制;
- e) 模拟动态模式;
- f) 无方向检测的实际动态模式;
- g) 有方向检测的实际动态模式;
- h) 测试模式;
- i) 空闲模式;
- j) 状态请求;
- k) 请求当前时间和里程坐标;
- l) 请求与标记脉冲相关的时间戳和里程戳(标记事件表);
- m) 清除标记事件表;
- n) 与接口 V3 一周期信号相对应的位移参数;
- o) 与接口 V4 一周期信号相对应的位移参数;
- p) 列车行进模拟时基于位移的速度与加速度模式;
- q) 设置开始应答器组模拟时基于距离的触发;
- r) 设置接口 C 事件模拟的基于位移的触发。

H. 1. 3. 1. 3 LTOM 向 LTMS 数据传输内容

LTOM 向 LTMS 发送的可能响应如下:

- a) 正确执行所接收命令后的确认;
- b) 对接收的命令未执行或执行不成功的相关信息;
- c) LTOM 当前状态(如通信“不可用”或“可用”、对新命令“未就绪”、“故障条件”);
- d) 控制测试事件相关的反馈数据(如设置与所接受输入标记相对应的时间和里程坐标);
- e) 在接口 V2 广播的最近时间和里程坐标表;
- f) 确认正确收到设置应答器组模拟的基于位移的触发信号;
- g) 确认正确收到设置接口 C 事件基于位移的触发信号。

H. 1. 3. 2 人机接口

使操作者采用便捷的方式向 LTOM 发送与 LTMS 相同的命令和数据。

LTOM 的输出数据宜图形化显示,以便操作者在远程控制模式和本地控制模式下检查测试步骤是否执行正确。

当执行远程控制操作时,通过人机接口的本地控制自动禁用。

H. 1. 3. 3 接口 V2

LTOM 通过接口 V2 周期向被测 BTM 广播当前时间和里程坐标。

LTOM 给出的值表示整个测试任务持续过程中的实际状况,这就需要定期不间断地向该接口提供数据,且这些数据在整个测试任务中保持连贯。

BTM 通过各制造商提供的接口适配器接收 LTOM 信息,该适配器负责将 LTOM 数据(包括可能不定时发生的不连续情况)转化为被测设备所需的特定形式。

LTOM 周期性广播如下信息:

- a) 从测试任务开始或从上次复位开始计算的当前时间;
- b) 天线中心从测试任务开始点或上次复位位置开始计算的当前位移;
- c) 当前时间和里程坐标的置信水平;
- d) 纵向速度(实际或模拟)的当前值;
- e) 检查数据传输规则性和完整性的数据。

相对于最不利情况下列车的加速与减速,传输周期应足够短。

详见 I.2。

H.1.3.4 接口 V3

LTOM 从 APT 接收的实时速度/位移信号包含如下信息:

- a) 天线从给定起始点沿纵向移动的距离;
- b) 纵向速度的瞬时值;
- c) 当前运动方向。

LTOM 读取并分析这些信号估计当前天线纵向位置、时间、里程,以形成 V2 信号及形成接口 V4 生成的速度传感信号。

本接口由一对方波信号组成,信号重复周期代表了给定的距离单位,该参数与使用的 APT 速度传感器相关,典型的,信号周期应与 0.1 mm ~ 1 mm 之间的距离值相对应,两方波之间的相位差(+90°或-90°)表示 APT 运行方向。

H.1.3.5 接口 V4

LTOM 产生一对实时速度信号,与测试中使用的实际纵向速度一致,为向被测车载设备提供与相同速度条件下实际传感器提供的相似信号。

对接口 V2 的连续性和一致性要求同样适用本接口。

详见 E.3。

H.1.3.6 接口 S1

在模拟给定的列车运行过程中,LTOM 向 RSG_1 发出一个合适的基于位移的触发脉冲(应答器组触发脉冲),以命令其产生与定义的应答器组相对应的实时信号。每个应答器的上行链路波形应提前在 RSG_1 内部准备好(例如离线和/或在虚拟列车从前一个应答器组向下一个应答器组移动的时间间隔内)。对于每个应答器组,该触发脉冲与一个预定的天线位置相关,该位置在应答器组之前(如距离组内第 1 个应答器中心前 1 m)。

H.1.3.7 接口 S2

在模拟当前应答器组过程中,对应每个被模拟应答器的中心位置,RSG_1 产生了一个适当的标记脉冲(应答器中心标记),该脉冲被 LTOM 快速接收,并用于估计仿真相关的时间和里程坐标,这些坐标包含了天线经过应答器的时间、位置、天线速度信息,LTOM 将这些信息尽可能快的发送回 LTMS,用以评估测试结果。

H.1.3.8 接口 S3

RSG_1 在完成当前应答器组模拟后(如最后一个应答器中心之后 1 m),立即产生一个标记脉冲(应答器组结束标记),经过 LTOM 通知 LTMS 当前应答器组模拟的结尾,LTMS 使用这个信息分析 BTM 报告的数据,并初始化新的测试步骤。

LTOM 收到标记脉冲后,加当前时间戳和里程戳,立刻转发给 LTMS。

H.1.3.9 接口 S4

LTOM 发送适当的位移相关触发脉冲给 RSG_C(接口 C 事件触发器),以在天线低速通过应答器时命令 RSG_C 触发接口 C 上预定的瞬态事件。触发脉冲可命令 RSG_C 转换正在发送的报文,或在当前报文中插入预定的错误片段,或模拟一个给定瞬态错误。

此类型的触发脉冲可在天线移动期间周期性发生,这些脉冲反馈通过接口 S5 给 LTOM,方便天线

处在规律变化的位置时,LTOM 记录时间和里程坐标以及天线速度,并发送给 LTMS,后续作为检验 BTM 功能报告的参考数据。

H. 1.3.10 接口 S5

在 S4 接口触发接口 C 瞬态事件后,RSG_C 产生一个适当的标记脉冲作为回应,或者 LTOM 回读接口 S4 的标记脉冲,作为接口 S5 的标记脉冲。

这些标记脉冲被 LTOM 快速接收,加当前时间戳和里程戳后,立即发送给 LTMS 用于评估测试结果。

H. 1.4 性能需求

LTOM 应满足下列基本性能需求:

- 对于天线在纵向的实际运动,最大有效距离约为 5 m,可覆盖正向运动和反向运动。相应速度范围应为 $0 \sim 0.5 \text{ m/s}$,最大加速度为 $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$;
- 最大模拟距离应达到 43 000 km,相应速度范围为 $0 \sim 500 \text{ km/h}$,最大加速度为 $-2.5 \text{ m/s}^2 \sim +2.5 \text{ m/s}^2$,步长为 0.02 m/s^2 ;
- 应答器组仿真由 RSG_1 组织,组内包含 1~8 个应答器,间距为 2.3 m~5.0 m。RSG_1 在连续应答器组仿真过程中,应考虑组间最小间距;
- LTOM 应支持静态测试,即被测设备只在时间变化条件下测试(如保持位置不变连续进行应答器信号仿真,只发生报文切换事件);
- 连续测试任务的最大持续时间应大于 20 h,在整个测试任务中,向被测设备传递的时间和里程信息需连续并与天线的实际/仿真运动一致;
- LTOM 输出接口(T4、V2、V4、S1 至 S5)传输信息的时间和里程精度/分辨率应高于 $\pm 5 \text{ mm}$ (位移)与 $\pm 25 \mu\text{s}$ (时间);
- 为避免被测设备可能的反应扰乱测试过程的正确进程,接口 V2 与接口 V4 提供的数据应始终一致并在整个测试任务中保持一定的准确性。对于某些特殊目的,为简化测试过程,LTOM 可从 0 位置重新启动(复位);
- 一旦复位,如有必要,接口 V2 或接口 V4 的适配器负责平滑特定被测设备可能的不连续需求。

H. 2 参考信号发生器(RSG)说明

H. 2.1 运行环境

H. 2.1.1 环境组成

RSG 用于产生符合 TB/T 3485—2017 和测试过程中规定的信号波形。

RSG 应用于图 H.2 简要示意的测试环境。

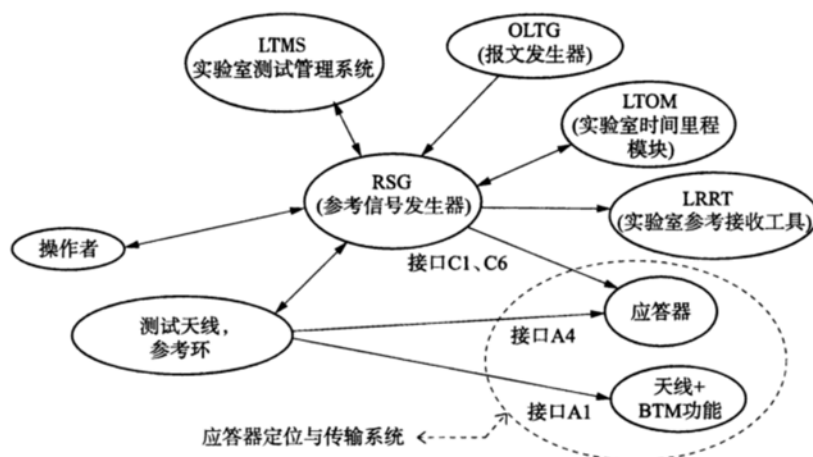


图 H.2 RSG 运行环境

RSG 环境组成如下:

- a) LTMS(实验室测试管理系统):管理不同测试程序的全部测试过程(步骤、细节);
- b) OLTG(报文发生器):用于通过接口 A1 和接口 C1 传输的报文数据,经此特定的报文发生器产生;
- c) LTOM(时间和里程模块):LTOM 用于传送当前时间和位置给 BTM 模块,同时负责在模拟列车运行中给定理论应答器中心时间戳和里程戳,应答器中心信息由 RSG 提供(位置/时间标记脉冲);
- d) 测试天线与参考环:测试天线(包含测试天线、激励天线等套件)和参考环(大尺寸和标准尺寸)用于传输接口 A 信号;
- e) LRRT(参考接收机):用于接收接口 A1 的上行链路报文。

H.2.1.2 控制对象

RSG 用于测试下列应答器设备:

- a) 天线与 BTM 功能模块。静态条件下,RSG 发生上行链路接口 A1 信号,为模拟动态序列,RSG 发生一个信号用于模拟列车通过时应答器传送的信号,包含特定车载天线辐射图的影响因素。此动态序列中,RSG 提供如下信号:
 - 1) FSK 上行链路信号;
 - 2) 应答器通过信号(PB2)、辐射图;
 - 3) 应答器组传送结束标记;
 - 4) 列车经过应答器中心的标记、报文转换标记。
- b) 上行链路应答器。RSG 发生接口 C 信号及射频能量信号(接口 A4),用于测试上行链路应答器性能,射频能量信号幅度模拟列车通过应答器的曲线信号调制处理,在报文传输的预定起始位置标记信号。RSG 提供如下信号:
 - 1) 射频能量信号;
 - 2) 应答器通过信号(PB1)及指示磁通达到 Φ_{d1} (作为天线电流的测试结果)的标记信号;
 - 3) 接口 C 信号;
 - 4) 不同回波损耗条件下的接口 C 信号;
 - 5) 接口 C 信号的传输起始标记。

H.2.2 功能需求

H.2.2.1 基本功能

H.2.2.1.1 概述

RSG 从功能上划分为下列三个部分:

- a) RSG_1. 发生上行链路 FSK 测试波形(包含动态模式);
- b) RSG_2. 发生射频能量测试波形(包含动态模式);
- c) RSG_C. 发生接口 C 测试波形(包含回波损耗测试中的源阻抗改变)。

H.2.2.1.2 参考信号发生器 1(RSG_1)

表 H.1 列出需 RSG_1 功能支持的不同测试案例及相应操作模式。

表 H.1 RSG_1 功能对应测试案例

项 目	测试案例	测试对象	操作模式
1	应答器 4.2 MHz 环电流校准	应答器或参考环	连续
2	输入输出特性校准		连续
3	串扰免疫测试(上行链路)		连续
4	对电缆的串扰免疫测试		连续

表 H. 1 RSG_1 功能对应测试案例(续)

项目	测试案例	测试对象	操作模式
5	辐射图评估	天线与 BTM 功能模块	连续、单次
6	传输测试		连续、单次
7	上行链路信号特性		连续、单次
8	串扰免疫测试		连续、单次
9	对电缆的串扰免疫测试		连续、单次
10	不同类型报文处理		连续、单次、转换
11	应答器序列处理能力		序列

H. 2. 2. 1. 3 参考信号发生器 2(RSG_2)

表 H. 2 列出需 RSG_2 功能支持的不同测试案例及相应操作模式。

H. 2. 2. 1. 4 参考信号发生器 C(RSG_C)

表 H. 3 列出需 RSG_C 功能支持的测试案例及相应操作模式。

表 H. 2 RSG_2 功能对应测试案例

项目	测试案例	测试对象	操作模式
1	27 MHz 射频能量磁通量校准	应答器或参考环	连续
2	应答器上行链路一致性测量		连续
3	应答器射频能量一致性测量		连续
4	应答器输入输出特性		连续
5	对电缆的串扰免疫		连续
6	应答器上行链路电特性		连续、单次
7	延迟时间及接口 C 参数变化		连续
8	接口 C 特性测试		连续、单次
9	应答器响应校准		连续

表 H. 3 RSG_C 功能对应测试案例

项目	测试案例	测试对象	操作模式
1	上行链路信号特性	应答器或参考环	连续
2	延迟时间及接口 C 参数变化		连续
3	接口 C 特性测试		连续、报文调制
4	默认报文转换		转换
5	阻止报文转换		连续
6	回波损耗测试		连续

H. 2. 2. 2 工作模式

H. 2. 2. 2. 1 RSG_1

RSG_1 功能用于在本地或遥控模式下发生下列模式的信号：

- a) 连续模式：持续发生传输单一报文的 FSK 信号，以模拟单一报文的传输，不需要触发；
- b) 单次模式：发生经辐射图（特定场强或磁通曲线）或模拟应答器通过信号（PB2）调制的单一

FSK 信号(模拟一次报文传输),信号发生由触发信号(由 LTMS 软件触发,或由 LTOM 硬件触发)启动,RSG 向 LTOM 提供应答器中心标记;

- c) 转换模式:发生经辐射图或模拟应答器通过信号(PB2)调制的单一 FSK 信号(模拟一次报文传输),模拟一次报文转换。在报文转换测试中,RSG 提供第二标记脉冲,即报文转换标记,用于指示第二条报文的起始点;
- d) 序列模式:发生一个表征通过多个应答器的序列,序列中每个应答器通过均对应一条特定报文,发生由 LTOM 触发启动,RSG 为每个应答器通过提供应答器中心标记,并提供应答器组结束标记。

H. 2. 2. 2. 2 RSG_2

RSG_2 功能用于在本地或遥控模式下发生下列各种模式的信号:

- a) 连续模式:持续发生一路频率为 27.095 MHz 的连续射频能量信号;
- b) 单次模式:发生一路磁通经调制为模拟列车通过(PB1)的 27.095 MHz 射频能量信号,信号发生由触发信号(LTMS 软件触发,或 LTOM 硬件触发)启动,RSG 提供用以指示信号达到磁通等级 Φ_{dl} 的标记。

H. 2. 2. 2. 3 RSG_C

RSG_C 功能用于在本地或遥控模式下发生下列各种模式的信号:

- a) 连续模式:连续发生一路模拟单报文传输的信号,并提供指示报文起始的标记;
- b) 转换模式:连续发生模拟单报文传输的信号,在收到 LTOM 脉冲指令后,信号由一条模拟报文转换到另一条模拟报文,并提供指示新报文起点的标记;
- c) 报文调制模式:连续发生模拟单报文传输的信号,在接收到 LTOM 的脉冲指令后,产生模拟的报文事件(错误报文或其他模拟故障),并提供指示模拟报文事件后报文恢复时刻的标记。

H. 2. 3 外部接口

H. 2. 3. 1 RSG_1

H. 2. 3. 1. 1 与 LTMS 接口

LTMS 需特定指令以控制 RSG 模拟所需信号,所需信号由 LTMS 装载的测试脚本定义,通过测量 RSG 发生的信号进行调整,因此,需要有功率计连接到参考环执行电流测量。

H. 2. 3. 1. 2 与 LTOM 接口

H. 2. 3. 1. 2. 1 触发脉冲

一个既定案例的模拟过程中,LTOM 下达一个适配的触发脉冲给 RSG 以指令信号的发生。

H. 2. 3. 1. 2. 2 应答器中心标记

RSG 发生与每个应答器中心关联的应答器中心标记,此脉冲由 LTOM 接收并用于评估模拟应答器中心的时间—里程坐标。

H. 2. 3. 1. 2. 3 组结尾标记

为允许加载新的波形,当前应答器组的模拟一旦结束,RSG 即发送适配的标记信号给 LTOM。

H. 2. 3. 1. 2. 4 报文转换标记

与任意报文转换相关联,或与模拟上行链路应答器信号过程中的其他类似事件相关联,RSG 发出相应的标记脉冲。

H. 2. 3. 2 RSG_2

H. 2. 3. 2. 1 与 LTMS 接口

LTMS 需特定指令以控制 RSG 模拟所需信号,所需信号由 LTMS 装载的测试脚本定义,通过测量 RSG 发生的信号进行调整,因此,需要有功率计连接到参考环执行电流测量。

H. 2. 3. 2. 2 测试天线

测试天线需参考信号发生器的源阻抗为 50 Ω ,发生器容忍测试对象阻抗差异导致的阻抗波动。

H. 2. 3. 2. 3 测试天线的电流探头(CS)

所需输入功率和调制深度依赖于测试对象的动态阻抗,正确的磁通量值与电流探头输出的测量相关,需经过特定的校准过程。

H. 2. 3. 2. 4 与实验室参考接收机(LRRT)接口

RSG 提供指示磁通达到 Φ_{d1} 的标记脉冲给 LRRT(接口 S6)。

H. 2. 3. 3 RSG_C

H. 2. 3. 3. 1 与 LTMS 接口

LTMS 需要特定指令用于控制 RSG 模拟所需信号。

H. 2. 3. 3. 2 与 LTOM 接口

H. 2. 3. 3. 2. 1 传输起始标记

传输起始标记指示新的信息传输的起始,也用于一些测试中启动 LRRT 测量。

H. 2. 3. 3. 2. 2 转换触发

转换触发由 LTOM 提供,支持从前一报文到后一报文(或模拟错误)的转换,报文转换必须在接收到触发信号、当前进行的报文结束时立即生效。

H. 2. 4 性能需求

H. 2. 4. 1 RSG_1

依照 H. 2. 2. 1. 2 规定的功能需求,结合 TB/T 3485—2017 需求,提出下列最低限度性能要求:

- a) 输出电平要求:RSG 应能以步长 0.2 dB 提升或降低其输出功率,RSG 应能在适用的参考环上产生达到 $I_{u3} + 20$ dB 的电流峰值,精度应优于 0.05 dB,分辨率应优于 0.1 dB;
- b) 上行链路需求:RSG 发生的上行链路信号应满足表 H. 4 要求;

表 H. 4 上行链路信号特性

特 性	标称值	范 围	精 度	分辨率
中心频率	4.233 MHz	4.033 MHz ~ 4.433 MHz	20 kHz	1 kHz
频偏	282.24 kHz	268.13 kHz ~ 296.36 kHz	3.0 kHz	10 Hz
平均数据速率	564.48 kbit/s	550.36 kbit/s ~ 578.59 kbit/s	0.01%	0.01% kbit/s
幅度抖动	0 dB	-2.0 dB ~ +1.5 dB	0.15 dB	0.15 dB
MTIE	见 G. 1. 1. 2	见 TB/T 3485 - 2017	—	—

- c) 辐射图或应答器通过需求:RSG 应能以优于 0.01 ms 的精度发生规定的信号;
- d) 操作模式:RSG 应能在四种不同模式下(见 H. 2. 2. 2. 1)工作。

H. 2. 4. 2 RSG_2

依照 H. 2. 2. 1. 3 规定的功能需求,结合 TB/T 3485—2017 需求,提出以下最低限度性能要求:

- a) 输出电平要求:RSG 应能够以步长 0.2 dB 提升或降低其输出功率,RSG 应能发生磁通量值为 $\Phi_{d1} - 5$ dB ~ Φ_{d5} ;
- b) 射频能量需求:RSG 发生的射频能量信号应满足表 H. 5 所列要求;
- c) 应答器通过需求:RSG 应能以优于 0.01 ms 的精度发生规定的信号;
- d) 操作模式:RSG 应能在四种不同模式下(见 H. 2. 2. 2. 2)工作。

表 H. 5 射频能量信号特性

特 性	标称值	范 围	精 度	分辨率
频率	27.095 MHz	27.090 MHz ~ 27.100 MHz	0.5 kHz	0.1 kHz
载波噪声	—	< 110 dBc/Hz	—	—

H. 2. 4. 3 RSG_C

依照 H. 2. 2. 1. 4 规定的功能需求,结合 TB/T 3485—2017 需求,提出下列最低限度性能要求:

a) 接口 C1 信号为一种模拟单报文传输的 DBPL(差分双相位电平)编码信号,信号特性见表 H. 6;

表 H. 6 接口 C1 特性

特 性	标称值	范 围	精 度	分辨率
信号电平(V2)	16.0 V_{pp}	14 V_{pp} ~ 18.0 V_{pp}	0.1 V_{pp}	0.1 V_{pp}
平均数据速率	564.48 kbit/s	564.36 kbit/s ~ 564.60 kbit/s	0.002%	0.01 kbit/s
时间抖动	0 ns	< ± 60 ns	10 ns	—
正常回波损耗	—	≥ 23 dB	—	—
极限回波损耗	6 dB	5.5 dB ~ 6 dB	—	—

b) RSG 应能模拟相关眼图参数的极限情况并符合最低限度的上升时间和下降时间需求(见 TB/T 3485—2017);

c) RSG 应能模拟不同回波损耗条件,用于测试接口 C1 的源阻抗影响;

d) RSG 应能模拟不同回波损耗条件,用于测试接口 C6 的源阻抗影响,接口 C6 特性见表 H. 7。

表 H. 7 接口 C6 特性

特 性	标称值	范 围	精 度	分辨率
信号电平	22.0 V_{pp}	20.0 V_{pp} ~ 23.0 V_{pp}	0.15 V_{pp}	0.1 V_{pp}
频率	8.820 kHz	8.72 kHz ~ 8.92 kHz	10 Hz	1 Hz
二次谐波	—	< -20 dBc	—	—
谐波分量	—	< -40 dBc(0.1 MHz ~ 1 MHz)	—	—
正常回波损耗	—	≥ 23 dB	—	—
极限回波损耗	4 dB	3.8 dB ~ 4 dB	—	—

H. 3 天线定位工具说明(APT)

H. 3. 1 运行环境

RSG 应用于图 H. 3 简要示意的测试环境中。

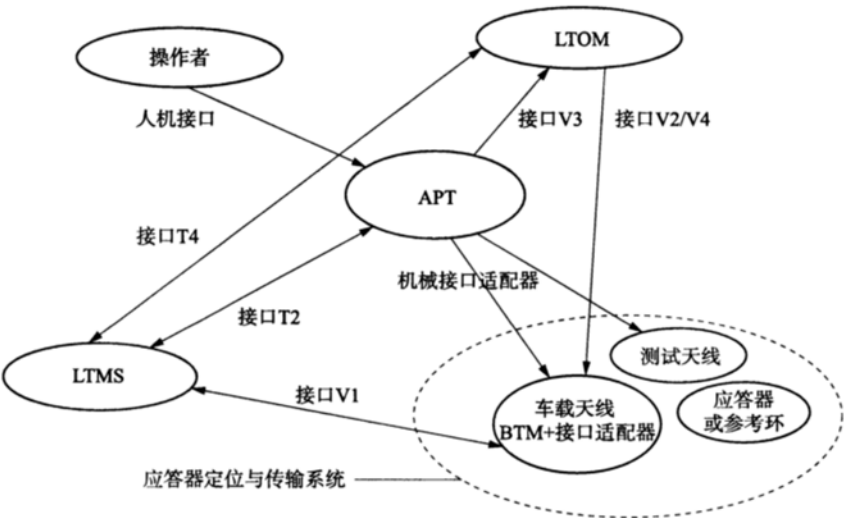


图 H. 3 APT 运行环境示意

APT 用于将车载天线或测试天线定位于不同的 X 、 Y 、 Z 坐标及调整角偏移状态,参考点为被测应答器或参考环。被测应答器或参考环放置于预定的固定位置,构成了空间参考系统的原点,该空间参考系统用于规定测试中的运动。

根据操作者通过人机接口发送的命令,或 LTMS 远程控制发送的命令,APT 在自动控制下实现其 X 、 Y 、 Z 方向上的运动。角偏移变化频度较小,可通过(与位移)类似的方法自动控制,也可通过手动调整。

天线定位过程可通过准静态方式实现(向目标方向移动一个指定步长并估计当前位置误差,再次移动一个指定步长,循环进行,直到达到最小的定位误差),也可通过连续移动方式进行。

APT 应允许静态测试,即在手动测试或调整测试环境时,可保持天线在某给定位置静止任意长时间。

APT 应允许在纵向(列车运行方向)进行连续运动,可按预定的速度匀速运动,也可采用给定的速度模式运动,以模拟列车低速运行,在此情况下,APT 应向 LTOM 提供实时速度/距离信号或数据,以实现对所挂载天线的速度与位置进行连续准确的监测。

运动在各个方向的有效范围最小值为:纵向 3.6 m、横向 1.5 m、垂向 0.4 m,定位精度在中心区域(作用区)要求较高,在其他区域可适当放宽。围绕三个轴的角度偏移应可达到 $0 \sim \pm 15^\circ$,并保证足够的精度和分辨率。

H.3.2 功能需求

H.3.2.1 基本功能

H.3.2.1.1 主要部件

APT 主要由下列部件组成:

- a) 固定的、高稳定的机械框架,用于支撑整个系统;
- b) 可准确移动(沿 X 、 Y 、 Z 轴)及旋转(围绕 X 、 Y 、 Z 轴)的机头;
- c) 一组机械接口,用于将多种车载天线及测试天线固定于移动机头;
- d) 运动执行机构及相关传感器;
- e) 执行机构的电驱动器;
- f) 驱动器的控制器与监视器;
- g) 与 LTMS 的接口;
- h) 与 LTOM 的接口;
- i) 确认定位精度的诊断工具,以及对准运动机头与固定测试床(放置有应答器或参考环)的诊断工具。

H.3.2.1.2 功能要求

APT 接收到外部请求,完成下列一项或多项基本功能:

- a) 与操作者相配合;
- b) 与 LTMS 相配合;
- c) 与 LTOM 相配合;
- d) 对 APT 所有基本功能自检;
- e) 寻找定位参考点;
- f) 从丢失的定位参考点恢复;
- g) 检测并报告当前位置;
- h) 将运动机头沿 X 轴定位;
- i) 将运动机头沿 Y 轴定位;
- j) 将运动机头沿 Z 轴定位;
- k) 围绕 X 轴旋转运动机头(倾斜角);

- l) 围绕 Y 轴旋转运动机头(俯仰角);
- m) 围绕 Z 轴旋转运动机头(偏转角);
- n) 将运动机头定位至给定点(X, Y, Z),并带有角度偏移的任意组合;
- o) 在给定的纵向、垂直和角度偏移条件下,将运动机头沿 X 轴连续运动。

H.3.2.2 操作模式

H.3.2.2.1 概述

APT 有“远程控制”和“本地控制”两种基本控制方式,“远程控制”由 LTMS 通过 T2 接口完全监控;“本地控制”由操作者通过人机接口控制。

人机接口应允许与 LTMS 命令相同的基本操作,并提供简单明了的输出信息,这种人工操作模式主要应用于测试环境的简单确认,或将应答器或参考环与所需测试位置对齐。

应答器和天线的所有相关位置的数据,与 APT 控制逻辑内部的参考系统相互独立,在进行转换时,操作者和 LTMS 应遵循参考轴、坐标原点、角度偏移和坐标的定义。

H.3.2.2.2 空闲模式

上电后的默认模式,或响应操作者/LTMS 的请求进入。本模式下,保持一种安全的静止状态,主要用于操作人员在测试床区域工作时。宜采取措施防止运动机头的意外运动。

H.3.2.2.3 自检模式

通过自检完成基本功能确认,在测试任务开始时被调用,或当 LTMS 或操作者认为需要时调用,例如,检测可令天线自动定位于预存的检测点,并通过绝对位置传感器或精密工具对到达位置的正确性进行验证。

H.3.2.2.4 从丢失位置恢复

当 APT 失去了当前天线位置时,在以特定错误码通知操作者(通过 MMI)和/或 LTMS,以开启恢复程序,恢复程序包括回到最近的装有绝对位置传感器的“回归点”,检测该位置,软件重新初始化。当需要人工干预时,提醒操作人员进行相应操作。

H.3.2.2.5 准静态天线定位

天线定位通过沿着 X, Y, Z 轴分步移动实现,可选择时间最优路径,通常这种操作类型只关心初始位置和最终位置,测量和需求的精度与移动过程的中间位置无关。

然而在某些情况下,测试床上存在与移动的天线冲突的物体,有必要为朝向某一最终位置的自由运动加入一些限制条件,例如,在测试床上放有杂物箱的相关测试。

一些测试需要使用天线在许多不同位置进行测量,此时,天线定位时间对整体测试时间影响很大。因此,推荐使用多轴联动的定位算法,以最小化定位时间。

根据运动机头结构及用于天线固定的机械接口类型,可能需要提供对 X, Y, Z 轴定位误差的补偿算法,该误差来源于围绕着轴进行的角度偏移(倾斜角和俯仰角)与天线参考轴不一致。

H.3.2.2.6 连续纵向天线移动

应用于低速、真实天线运动的相关测试中。

在保持横向、垂向以及角度偏移不变的情况下,按近乎匀速进行一段连续纵向移动,以模拟低速通过应答器。在以应答器为中心的整个作用区(X 范围为 $-0.5\text{ m} \sim 0.5\text{ m}$)内达到恒定速度 $0.2\text{ m/s} \sim 0.5\text{ m/s}$ 。

典型的连续纵向移动如下:一个约 $0.3\text{ m} \sim 0.5\text{ m}$ 的匀加速度阶段,一个持续 $1\text{ m} \sim 2\text{ m}$ 的匀速阶段,一个约 $0.3\text{ m} \sim 0.5\text{ m}$ 的匀减速阶段。

可能需要提供对 X, Y, Z 轴定位误差的补偿算法,该误差来源于围绕着轴进行的角度偏移(倾斜角和俯仰角)与天线参考轴不一致。

H.3.3 外部接口

H.3.3.1 T2 接口

H. 3. 3. 1. 1 概述

接口 T2 用于在 LTMS 和 APT 之间交互命令和数据。

LTMS 命令用于将 APT 设置于所需的操作模式以得到要求的天线位置或运动。

H. 3. 3. 1. 2 LTMS 向 APT 数据传输内容

LTMS 向 APT 发送的命令与数据的示例如下：

- a) 切换至本地控制；
- b) 切换至远程控制；
- c) 紧急停止；
- d) 发送 APT 配置数据；
- e) 进入空闲状态；
- f) 回到“回归点”；
- g) 运行自检；
- h) 报告当前位置；
- i) 指定角度偏移及运动限制情况下,进入下一个 X 、 Y 、 Z 位置；
- j) 指定角偏移及运动限制情况下,由当前位置沿 X (或 Y 或 Z)轴运动一个指定步长；
- k) 给定横向、垂向、角度偏移及所需峰值速度的情况下,在给定 X 轴坐标范围内进行一个连续纵向运动。

H. 3. 3. 1. 3 APT 向 LTMS 数据传输内容

APT 对 LTMS 的应答示例如下：

- a) 确认对所接收命令的成功执行；
- b) 所接收信息未能正确执行的相关信息；
- c) APT 当前状态(如“未就绪”,“故障条件”)；
- d) 报告当前位置与角度偏移。

H. 3. 3. 2 人机接口

人机接口应允许操作者便捷的发送与 LTMS 相同的命令,实现 APT 功能。

APT 的输出数据宜图形化显示,以容许操作者便捷的检查远程控制与本地控制测试步骤执行的正确性,当需要操作者执行关键动作时,应声音提示。

在“远程控制”操作运行时,通过人机接口的“本地控制”被自动禁用。

为避免危险情况,操作员可通过紧急制动指令便捷地控制系统停车,该指令超越任何其他命令或内部操作。

H. 3. 3. 3 V3 接口

APT 向 LTOM 发送天线从给定起始点沿纵向运行距离的实时信息、纵向速度的瞬时值、当前运动方向。

LTOM 处理这些信息以监控天线的当前纵向位置与速度,并根据测试程序进行控制。

详见 H. 1. 3. 4。

H. 3. 4 性能需求

H. 3. 4. 1 测试床特性

APT 基本性能需求如下：

- a) 定位区域有效范围的最小值为:纵向 3.6 m,横向 1.5 m,垂向 0.5 m,定位精度在中心区域(作用区)需求较高,外围可适当放宽。应具有围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转功能,围绕 Y 轴角度范围(俯仰角)应在 $0 \sim \pm 5^\circ$;围绕 X 轴角度范围(倾斜角)应在 $0 \sim \pm 10^\circ$;围绕 Z 轴角度范围(偏移角)应在 $0 \sim \pm 5^\circ$ 。这些角度偏移应可任意组合；
- b) 天线应能够进行正向和反向的连续纵向移动,移动范围为 2 m ~ 4 m,速度为 0.1 m/s ~

- 0.5 m/s匀速,最大加速度 $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$;
- c) 运动控制的功率应足够保证所需的加速度、减速度值;
 - d) X、Y方向的准静态定位可仅在正坐标区域进行,需要在负坐标区域进行的测试,可通过旋转应答器和天线实现。为实现上述需求,偏转角可实现 $\pm 180^\circ$ 安装,同样,通过旋转偏转角 $\pm 90^\circ$,可将横向移动转化成为纵向移动,以节约 APT 成本及减少测试空间需求;
 - e) 为了避免测试受周围环境干扰,在各种位置测试时,应答器、天线周围应有一个无金属空间,见 4.1;
 - f) 天线的垂向和角度定位可通过人工调整加 APT 逻辑协助实现;
 - g) 用于固定移动部件的机械框架应有足够的惰性及稳定度以轻松吸收运动产生的反作用力,且最小化所挂载天线产生的振动;
 - h) APT 最大承重约为 30 kg,包括天线的重量、挂载天线用的机械结构,测试用到的杂物、金属物等。天线最大尺寸约为 $640 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$;
 - i) 应答器区域应保留足够的空间,以安装杂物盒或模拟护轮轨、金属枕、金属板、线缆、轨道中金属块等;
 - j) 为避免 APT 控制设备故障或失灵对人员和设备造成危险,应采取适当的保护措施(宜独立于 APT)。

H.3.4.2 定位精度

给定高度 Z ,在平行于 $X-Y$ 平面的平面,天线定位/运动主要关注下列三个区域:

- a) “作用区”: $X = \pm 500 \text{ mm}$, $Y = \pm 400 \text{ mm}$ 限定的方形区域;
- b) “旁瓣区”: $X = \pm 1400 \text{ mm}$, $Y = \pm 1400 \text{ mm}$ 限定的方形区域,并去除作用区;
- c) “串扰防护区”: $X = \pm 3600 \text{ mm}$, $Y = \pm 3600 \text{ mm}$ 限定的方形区域,去除作用区、旁瓣区。

定位精度和分辨率需求与区域相关,内部的区域需要更高的分辨率及更高的精度,整个空间中与天线定位分辨率/精度需求相关的参数见表 H.8,对应答器定位相关要求见表 H.9。

在表 H.9 中应答器定位最大偏差相对表 H.8 提高了最大允许偏差要求,仅适用于作用区定位和角度偏移。

表 H.8 天线定位范围与精度

参 数	变化范围	最小分辨率	最大偏差
Z	0 mm ~ +400 mm	10 mm	$\pm 1 \text{ mm}$
X - 作用区	-500 mm ~ +500 mm	5 mm	$\pm 1 \text{ mm}$
X - 旁瓣区	-1400 mm ~ +1400 mm	10 mm	$\pm 2 \text{ mm}$
X - 串扰防护区	-3600 mm ~ +3600 mm	50 mm	$\pm 10 \text{ mm}$
Y - 作用区	-400 mm ~ +400 mm	5 mm	$\pm 1 \text{ mm}$
Y - 旁瓣区	-1400 mm ~ +1400 mm	10 mm	$\pm 2 \text{ mm}$
Y - 串扰防护区	-3000 mm ~ +3000 mm	50 mm	$\pm 10 \text{ mm}$
Ti 倾斜角	-10° ~ +10° (通过适配器 0° ~ 20°)	1°	$\pm 0.25^\circ$
Pi 俯仰角	-5° ~ +5° (通过适配器 0° ~ 10°)	1°	$\pm 0.25^\circ$
Yo 偏转角	-5° ~ +5° (通过适配器 0 ~ 10°)	1°	$\pm 0.25^\circ$
	-90° ~ +90° (手动)	90°	$\pm 0.25^\circ$
	-180° ~ +180° (手动)	90°	$\pm 0.25^\circ$

表 H.9 应答器定位范围与精度

参数	变化范围	最小分辨率	最大偏差
Z	-210 mm ~ -93 mm	10 mm	±1 mm
X	-3 000 mm ~ +3 000 mm	500 mm	±1 mm
Y	-1 400 mm ~ +1 400 mm	200 mm	±1 mm
Ti 倾斜角	-2° ~ +2°	1°	±0.25°
Pi 俯仰角	-5° ~ +5°	1°	±0.25°
Yo 偏转角	-10° ~ +10°	1°	±0.25°
	-90° ~ +90°	90°	±0.25°
	-180° ~ +180°	90°	±0.25°

H.4 离线报文发生器(OLTG)说明

H.4.1 运行环境

H. 4. 1. 1 概述

OLTG 包含下列内容:

- 发生用于接口 C 和接口 A 的测试报文;
- 检查接口 A 和接口 V 接收的报文;
- 发生用于应答器内部存储的报文(默认报文)。

H. 4. 1. 2 环境组成

OLTG 应用环境简略描述见图 H.4。

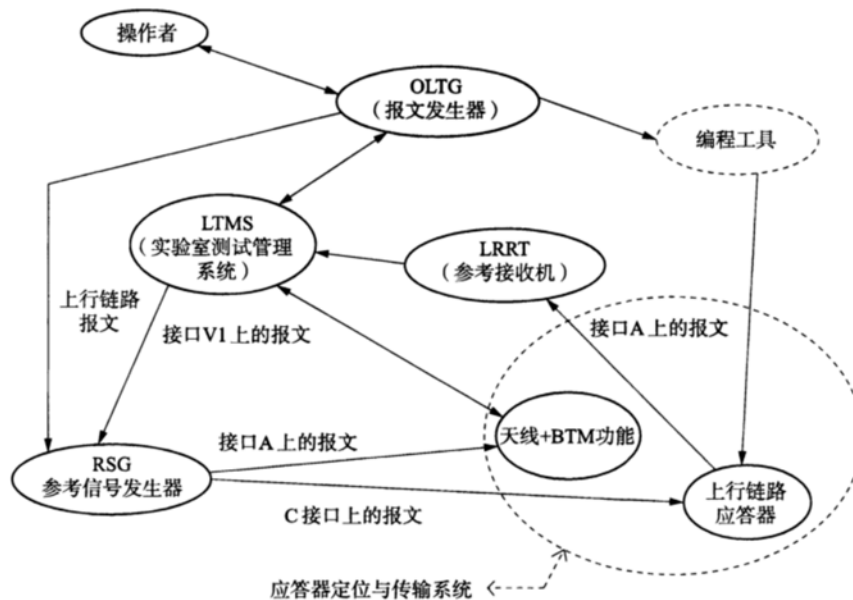


图 H.4 OLTG 运行环境

OLTG 环境包含下列内容:

- a) 天线与 BTM 功能模块:天线与 BTM 功能模块测试需 OLTG 生成通过接口 A1 传输(上行链路功能)的测试报文,并用于对接口 V 接收到的报文进行检查;
- b) 上行链路应答器:应答器性能测试需 OLTG 生成通过接口 C1 传输的测试报文,同样用于生成

存储在应答器内部存储器上的报文(默认报文),还用于检查接口 A1 实际传输的报文。

- c) 操作者:操作 OLTG;
- d) 测试管理系统(LTMS):LTMS 掌管所有的测试程序及测试工具;
- e) 参考信号发生器(RSG):负责在接口 A1 和接口 C1 上传输上行链路报文;
- f) 参考接收机(LRRT):负责接收接口 A1 上的上行链路报文;
- g) 编程设备:编程设备用于将默认报文写入应答器内的存储器。

H. 4. 2 功能需求

H. 4. 2. 1 基本功能

H. 4. 2. 1. 1 OLTG 功能

OLTG 实现下列功能:

- a) 编码功能:将用户数据转换为应答器传输报文;
- b) 解码功能:因 OLTG 将用做编码策略确认的参考工具,以检查报文完整性,防止违反编码需求的其他来源报文,此功能也用于校验字符串(341 位或 1023 位)符合编码需求;
- c) MMI 功能:此功能用于 OLTG 与其他工具及操作者的接口。

H. 4. 2. 1. 2 人机接口功能

人机接口应基于图形方式,并提供下列功能:

- a) 加入拟编码的用户数据;
- b) 存储拟编码的用户数据到文件;
- c) 编码生成一条以上报文;
- d) 存储编码完成的报文到文件;
- e) 加载包含经编码报文的文件;
- f) 在屏幕显示报文的 CRC 校验和解码后用户数据;
- g) 存储解码后用户数据到文件。

H. 4. 2. 2 功能结构

见图 H. 5,报文发生器应包含下列 5 个主要部分:

- a) 图形用户界面(GUI):管理不同软件功能的调用;
- b) 用户数据界面:用于进入和存储用户数据并显示解码结果,操作者可打印用户数据、从文件中加载数据;

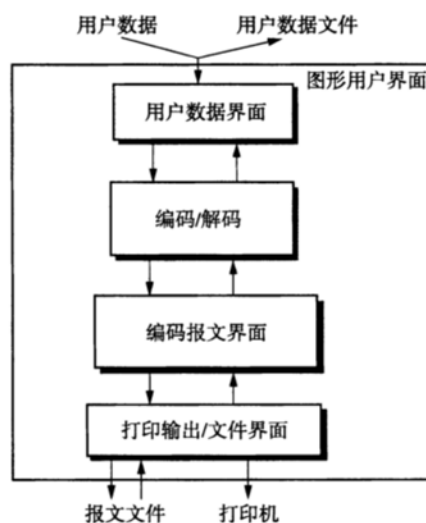


图 H. 5 OLTG 功能结构

- c) 编码/解码:编码用户数据,解码经过编码的报文;
- d) 编码报文界面:显示上面操作的编码报文结果,显示从“打印输出/文件界面”加载的文件中的编码报文;
- e) 打印输出/文件界面:打印编码报文、报文存储到文件、从文件加载报文。

H. 4. 3 外部接口

H. 4. 3. 1 用户数据

H. 4. 3. 1. 1 概述

应在下列层面提供用户数据界面:

- a) 使用 CTCS 列控数据包和变量的高级描述方式;
- b) 16 进制显示的用户数据位。

应支持显示文件信息内容,及通过 MMI 的交互式接口。

OLTG 应能够处理存储在单个文件中的多个连续报文。

H. 4. 3. 1. 2 数据包及变量描述

按照 CTCS 列控系统定义的数据包和变量形式,加入和显示用户数据。OLTG 应支持这样一些功能,如在交互式输入情况下,一些变量自动完成判别;在需要的情况下,自动用“1”补足数据。

H. 4. 3. 1. 3 16 进制显示

按 B. 2 中表 B. 1 的格式予以显示。

H. 4. 3. 2 报文文件

OLTG 应提供与输入用户数据一致的编码后报文数据,这些编码后数据应存储到文件中,通过图形用户界面显示。

OLTG 应能提供基于编码报文(来自文件)解码后的用户数据,解码后的数据应存储到文件并通过图形用户界面显示。

编码报文文件格式与 B. 2 中表 B. 1 一致。

H. 4. 3. 3 打印输出

OLTG 应支持打印全部相关的输入和输出信息。

H. 5 测试管理系统(LTMS)说明

H. 5. 1 运行环境

LTMS 负责自动控制与管理应答器实验室测试,涉及轨旁应答器、车载传输设备以及整个传输系统(由应答器与车载传输设备组成),LTMS 控制所有的仪器仪表以及所需工具,针对给定测试过程,搜集并分析相关测试数据,在最终测试报告中总结测试结果。

LTMS 简要内外关系见图 H. 6。图中展示了命令与数据交换的外部接口。每个被控设备有自己特定的命令。所交换的命令主要有两种不同的类型。一种是在测试过程开始时进行的配置设置交换;另一种是测试过程中产生的在线原始测试数据。

通过图形化的人机界面与测试操作者交互,进行测试过程的定制、控制与监督,主要完成下列基本操作:

- a) 在搭建测试环境时给操作者提示,在测试过程中显示测试过程状态及当前步骤测试结果;
- b) 控制 APT 到达每个测试步骤所需的位置;
- c) 控制 LTOM 测量/仿真当前速度,进行初始设置及同步;
- d) 控制 RGS 模拟接口 A 和/或接口 C 所需的信号;
- e) 控制 LRRT、功率计、网络分析仪测量接口 A 或接口 C 的信号特性;
- f) 控制被测天线/BTM 的操作模式,收集相关测试数据;
- g) 控制环境传感器,对测试台周边温度湿度进行测量;
- h) 分析并检查测量结果的正确性;

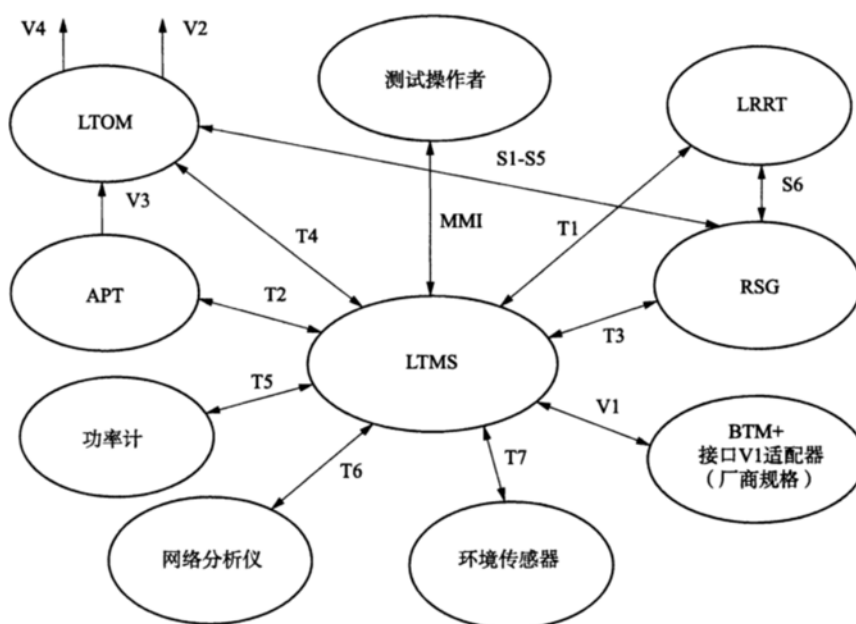


图 H.6 LTMS 运行环境

i) 以结构化方式记录每个测试步骤的测试结果与条件,并打印生成最终测试报告。

H.5.2 功能需求

H.5.2.1 基本功能

H.5.2.1.1 概述

LTMS 用于对需要多步骤、长持续时间的测试过程进行自动管理。

LTMS 基本构成为装备了 I/O 接口板的 PC 机,I/O 接口板与图 H.6 指示的工具和仪表对接,这些工具与仪表通常在每个测试过程中完成前端功能,这些功能一般区分为产生被测设备的输入信号及测量被测设备的输出信号。LTMS 根据每个测试过程的需求协调测试仪器的操作,并以结构化的方式记录所有相关数据。

操作者控制 LTMS 的操作模式,尤其是控制指令开始或终止预定的测试序列,当测试过程中需人工干预时,LTMS 向操作者提供在线操作指导,当发生异常或需人工干预时,应发出声/光报警。

LTMS 可对互相连接的多个工具调用特殊的自检,以允许重新校准或排除故障过程。

H.5.2.1.2 功能要求

LTMS 可采用多种组合的方式完成下列基本功能:

- a) 支持测试过程的编辑、调试及定制;
- b) 与测试操作者交互;
- c) 与 RSG 接口;
- d) 与 APT 接口;
- e) 与 LTOM 接口;
- f) 与 LRRT 接口;
- g) 与功率计接口;
- h) 与网络分析仪接口;
- i) 与 BTM 接口;
- j) 与温度、湿度传感器接口;
- k) 与处理、存储原始测试数据的软件工具接口,并生成最终测试报告;

- l) 对上行链路电流幅值的闭环控制;
- m) 对射频能量电流幅值的闭环控制;
- n) 预先编辑的测试过程的扩展实现。

H. 5. 2. 2 工作模式

H. 5. 2. 2. 1 概述

H. 5. 2. 2. 1. 1 操作权限

为保证使用灵活性,同时保证正确处理测试结果,LTMS 应支持操作者权限管理,对编辑更新 LTMS 的资源,采用适当的密码保护措施。

H. 5. 2. 2. 1. 2 一般操作

LTMS 应允许一般操作者进行如下操作:

- a) 登录系统,进入并查看有关测试操作者及测试报告中的测试设置等基本信息;
- b) 打开/关闭一个给定测试过程;
- c) 开始执行选定的测试过程;
- d) 退出正在执行的测试过程;
- e) 从被中断的步骤重新开始执行给定测试过程。

H. 5. 2. 2. 1. 3 授权操作

对于授权操作者,允许下列额外权限的操作:

- a) 通过暂停、删除、替换、插入或忽略特定测试步骤,编辑一个测试过程;
- b) 更新一个给定测试过程的输入数据;
- c) 单步运行测试过程,以排除故障。

H. 5. 2. 2. 2 空闲及自检模式

上电后或给定测试过程结束后的默认模式,所有被控设备仪器应保持不活动的状态,每个设备仪器应处于本地控制条件,其输出置成安全状态。

在操作者指令下,LTMS 允许单独确认外部接口行为的正确性,及确认工具及仪表的内部连接的正确。

H. 5. 2. 2. 3 测试过程控制

H. 5. 2. 2. 3. 1 参考环一致性测试

通过在自由空间中一系列不同的相对位置,测量得到两个同类型参考环之间的互阻,测量结果与期望数据进行比较,该期望数据由理论推导以及从经确认后的参考环实际测量获得。在测试中 LTMS 需控制下列内容:

- a) APT:将两被测参考环之一定位到所需测试位置;
- b) 网络分析仪:测试 S 参数,以产生输入测试信号及测量各自的测试输出;
- c) 软件工具:处理并存储测试数据,同时检查一致性需求的符合性,并估计参考环的补偿因子(B 因子)。

H. 5. 2. 2. 3. 2 应答器测试的校准

H. 5. 2. 2. 3. 2. 1 射频能量磁通

这些测试提供了联合应用测试天线与参考环的基本参考数据,其中测试天线用于产生射频能量磁场,参考环接收关联磁通。测试结果是一组 27 MHz 电流值,该电流用于驱动测试天线对所有需求的测试天线位置,对应所有杂物覆盖条件在参考环上产生给定的关联磁通。通过对比记录的数据,可检查在相同测试条件下应答器的传输特性。

测试中 LTMS 控制下列工具:

- a) APT:将测试天线准确定位到相对于参考环中心。本测试包含作用区和旁瓣区两个主要区域。
- b) RSG:用于发生一个可控电流驱动测试天线,以使参考环内达到预定的磁通量。磁通量由连

接到参考环输出的功率计直接测量,LTMS 紧密控制 27 MHz 电流环,包括 RSG、测试天线、参考环、功率计。

- c) 功率计:测量测试天线通过的电流以及参考环在每个测试条件下发出的输出功率。
- d) 环境传感器:定时测量测试床区域的环境温度与湿度。
- e) 软件工具:处理和存储用于其他应答器测试过程的射频能量校准数据。

H. 5. 2. 2. 3. 2. 2 上行链路应答器信号

这些测量提供了联合应用测试天线与参考环的基本参考数据,其中参考环用于产生上行链路场信号,测试天线通过接收线圈接收信号。测试结果是一组测试天线接收到的上行链路信号能量值,对应测试天线全部需求位置,对应各种杂物条件下的参考环,在给参考环通以既定的上行链路电流条件下获得。通过对比记录的数据,检查在相同测试条件下应答器传输特性。

测试中 LTMS 控制下列工具:

- a) APT:将测试天线定位于与射频能量磁通测试相同的位置,并增加了“串扰保护区”的测试位置。
- b) RSG:向参考环中输入可控的电流,该电流由功率计读取电流探头的输出进行测量。LTMS 精确检查 4.2 MHz 电流环,包括 RSG、参考环、电流探头、功率计。
- c) 功率计:测量流过参考环的电流,同时测量测试天线在每个测试条件下收到的上行链路信号。
- d) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度。
- e) 软件工具:处理和存储用于其他应答器测试过程的上行链路校准数据。

H. 5. 2. 2. 3. 3 应答器一致性测试

H. 5. 2. 2. 3. 3. 1 射频能量磁通

在每个测试位置,为了在应答器激活区域产生给定磁通,所需 27 MHz 电流的幅度由测试天线测量。在这些位置,通过测量上行链路信号间接判定是否达到所要求的磁通量,也就是测量在固定位置放置的 4.2 MHz 天线接收到的被测应答器的上行链路信号。测试结果与参考环确定的射频能量校准数据进行比较。

测试中 LTMS 控制下列工具:

- a) APT:将测试天线定位于给定的测试位置,与射频能量校准时的位置相对应。
- b) RSG:产生驱动测试天线的 27 MHz 电流,该电流在相同测试条件下产生与射频能量校准阶段相同的磁通量。LTMS 精确控制 27 MHz 电流环,包括 RSG,测试天线,电流探头以及功率计。
- c) 功率计:测量测试天线的 27 MHz 电流,以及测量 4.2 MHz 天线收到的由应答器发送的上行链路信号。
- d) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度。
- e) 软件工具:处理并存储射频能量一致性测试结果,以检查是否满足相应需求。

H. 5. 2. 2. 3. 3. 2 上行链路信号

使用 RSG 驱动放置于固定位置的激励天线,为应答器供给能量。受控的输入电流在应答器中产生适当的射频能量磁通,使应答器发送上行链路信号,该信号与在上行链路校准测量中通过中央位置的测试天线测得的上行链路信号相同。保持 27 MHz 电流在所有其他测量过程中恒定,测量并检查测试天线在所有测试位置接收到的上行链路信号,并与校准数据比较。

测试中 LTMS 控制下列工具:

- a) APT:定位测试天线,与上行链路校准时的位置相对应;
- b) RSG:产生可控的 27 MHz 电流驱动激励天线,使在中央位置收到的上行链路信号与校准阶段测试天线相同;LTMS 精确控制 27 MHz 电流,包括 RSG、激励天线、测试天线和功率计。需要时,RSG 也受控发生接口 C 信号,呈现出所需的电气特性并携带选定的测试报文;
- c) 功率计:测量通过激励天线的电流幅值,以及测量测试天线在每个测试位置接收到的被测应

答器发出的上行链路信号；

- d) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度；
- e) 软件工具:处理和存储上行链路一致性测试结果,以检查是否满足相应需求。

H. 5. 2. 2. 3. 4 I/O 特性

通过 RSG 发生 27 MHz 电流驱动测试天线,该电流与用以激活应答器的不同磁通量相对应,对每一个磁通量条件,测量并记录同一个测试天线接收到的上行链路信号,这些磁通量在射频能量场校准测试基础上确定,给出了在测试天线实际位置,已知的磁通量情况下,需要供给射频能量线圈的 27 MHz 电流。基于上行链路场校准测试,测得的 4.2 MHz 信号功率被转化成为环绕参考区域的环电流。上述磁通量与相应应答器上行链路信号电流构成一组数据,用于绘制应答器 I/O 特性曲线。使用软件工具处理及存储 I/O 特性测试结果,并检查是否满足相应需求。

测试中除使用测试天线中的激励线圈(27 MHz 环)代替激励天线,LTMS 控制与上行链路场测试相同的仪表工具。本测试仅在测试天线的中心位置进行。

H. 5. 2. 2. 3. 5 上行链路信号电气特性

H. 5. 2. 2. 3. 5. 1 电气特性内容

上行链路信号的电特性通过以下基本测试步骤进行评估。对全部测试步骤,测试天线在中心位置激励应答器,使参考区域内通过需要的磁通量。上行链路信号由同一天线接收,经 LRRT 处理,最终测试结果由 LTMS 存储。

静态和动态模拟条件下,评估上行链路应答器信号的下列特性:

- a) 中心频率及频率偏移；
- b) 平均数据速率；
- c) 最大时间间隔误差(MTIE)；
- d) 幅度抖动；
- e) 信号带宽；
- f) 应答器启动响应；
- g) 接口 C 数据信号到接口 A 上行链路信号的时间延迟；
- h) 应答器启动时刻的接口 C4 阻止信号。

H. 5. 2. 2. 3. 5. 2 C 接口条件

对于有源应答器,还需在下列不同 C 接口信号条件下,检验应答器上述信号特性:

- a) 接口 C 信号电特性为标称值和极限值；
- b) 不同的回波损耗条件；
- c) C 接口信号瞬态失效条件导致默认报文传输。

H. 5. 2. 2. 3. 5. 3 控制对象

测试中 LTMS 控制下列设备工具:

- a) APT、RSG、测试天线、与应答器 I/O 特性测试相同用法的功率计；
- b) RSG:发生携带所需测试报文、符合电特性需求的接口 C 信号；
- c) LRRT:处理和检查测试天线收到的上行链路信号特征,以获取最终的测试数据,并提供给 LTMS 记录；
- d) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度。

H. 5. 2. 2. 3. 6 车载设备射频能量辐射图

测试内容包含当被测天线保持处在预定的纵向位置、不同垂直高度、横向及角度偏移时,通过适当参考环度量射频能量磁通量,测试应覆盖“作用区”、“旁瓣区”、“串扰防护区”。

在被测天线不同给定位置,测量参考环输出的 27 MHz 能量,用于评估相关联的磁通量。在作用区沿纵向位置测量的一组磁通量值用于产生距离相关的天线辐射图,并进而用于传输测试。串扰区和旁

瓣区的测量结果用于评估车载设备的物理串扰防护边缘。

测试中 LTMS 控制下列设备工具：

- a) APT:定位被测天线到相对参考环中心与平面的需求位置；
- b) LTOM:为 BTM 模块提供与天线移动相关的当前时间和里程信息；
- c) 接口 V1 链路:控制 BTM 功能进入需求的操作模式,收集 BTM 模块报告的测试数据；
- d) 功率计:被测天线在不同位置时,测量参考环传送的 27 MHz 功率；
- e) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度；
- f) 软件工具:处理与存储各测试条件下的射频能量磁通量与对应的被测天线几何坐标,这些测试数据将用于针对车载设备的其他测试过程。

H. 5. 2. 2. 3. 7 车载设备上行链路辐射图

测试内容包含对被测天线的每个位置,确定达到 BTM 接收机阈值的适用参考环中需要的 4.2 MHz 电流幅值,正确的信号检测需要评估在接口 V1 上报告的 BTM 功能数据。测试需要使用可控的上行链路信号电流驱动参考环,简单地模拟在给定速度下的应答器通过。对每个位置,上行链路电流从 0 逐渐提升,直到 BTM 能接收传输的上行链路数据。在作用区沿纵向测得的一组上行链路阈值电流将用于发生用于传输测试中距离相关的天线接收图。旁瓣区和串扰区测得的结果将用于评估车载设备的物理串扰防护边缘。

为符合实际与模拟速度条件的常规限制,以及应答器(组)之间允许的最小距离,在测量区内外 LTOM 均受控工作于模拟应答器通过状态。

本测试与射频能量辐射图测量使用相同的纵向、横向、垂向位置和角度偏移。

测试中 LTMS 控制下列工具：

- a) APT:将被测天线定位在与射频能量辐射图测试中相同的位置；
- b) LTOM:为 BTM 提供与实际或模拟的天线移动相关的当前时间和里程信息；
- c) 接口 V1 链路:控制 BTM 进入需求的操作模式,收集 BTM 报告的测试数据；
- d) RSG:提供携带需求报文、具备可控幅度和动态特性的上行链路信号；
- e) 功率计:在初始校准阶段,测量参考环中的上行链路电流值；
- f) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度；
- g) 软件工具:处理与存储各测试条件下的上行链路阈值电流与对应的被测天线几何坐标,这些测试数据将用于针对车载设备的其他测试过程。

H. 5. 2. 2. 3. 8 车载设备传输测试

H. 5. 2. 2. 3. 8. 1 测试内容

测试内容包含当被测天线保持在固定的中心位置时,通过 RSG 和适当参考环模拟符合每个测试案例需求的动态上行链路应答器信号。在执行测试之前,对应每个测试条件,RSG 离线生成携带相应数据报文并具备特定电特性的时间相关的上行链路信号。被测车载设备的正确响应依赖于 BTM 在 V1 接口上的数据报告。

测试通过模拟应答器定位在预定的实际位置的“虚拟测试线”进行。不同的测试报文应用于不同的应答器模拟过程。为校验不同运行条件下的传输性能(“作用长度”、“作用时间”或“接收有效报文数量”),对不同运行条件进行组合,包含下列内容：

- a) 两个不同类型的参考环与相关安装条件；
- b) 射频能量模式(连续波)；
- c) 速度管理(从停止状态到最大允许速度)；
- d) 天线安装条件；
- e) 杂物条件的最不利组合；
- f) 上行链路应答器信号(电特性)质量；

- g) 可能的应答器设置(组内应答器序列);
- h) 数据和应答器报文的类型;
- i) 报文中数据错误条件。

在初始配置阶段,预加载(导入)一个完整测试场景的信号图到 RSG 工作区,之后进入实时操作。

测试中,LTMS 控制 LTOM 模拟需求的速度曲线,并在测试场景要求的精确时间和里程坐标位置触发 RSG 启动应答器信号模拟。

针对预期的结果,对接口 V1 上的全部 BTM 的报告进行检查。在最终测试报告中,公布全部测试条件和数据信息。

H. 5. 2. 2. 3. 8. 2 控制对象

测试中 LTMS 控制下列工具:

- a) APT:将被测天线定位在固定的中心位置;
- b) LTOM:模拟基于距离的速度曲线,向 BTM 产生与速度相关的时间和里程信息,并根据预定的应答器设置距离,向 RSG 产生触发脉冲以提供相关应答器信号;
- c) RSG:提供模拟所需的测试报文、精确控制包络幅度和动态特性的上行链路信号;
- d) 接口 V1 链路:控制 BTM 模块进入所需的操作模式,收集 BTM 模块报告的测试数据;
- e) 功率计:在初始校准阶段,测量参考环中的上行链路电流值;
- f) 环境传感器:定时测量测试床区域的温度与湿度;
- g) 软件工具:处理与存储各测试条件下的上行链路报文数据、各个应答器的定位数据、每次模拟应答器通过收到的报文数目,这些数据用于离线评估车载设备的有效传输性能。

H. 5. 3 外部接口

H. 5. 3. 1 人机接口(MMI)

人机接口支持操作者执行下列操作:

- a) 重启一个或多个预编辑的测试过程;
- b) 更新给定过程的测试步骤序列以更好地配合测试连接的特别需求(如断点插入,或略过、插入或重置某一步骤);
- c) 保存所有更新(升级)的测试过程;
- d) 操作者可直接提供输入数据(如横向和垂向移动车载天线);
- e) 为特定测试过程的输入参数选取适当的量值;
- f) 命令测试过程分步执行;
- g) 命令测试过程完整执行;
- h) 取消正在执行的测试过程;
- i) 重启或继续一个被暂停的测试过程;
- j) 在测试进程中小结测试结果,继续当前测试状态,保持正在进行的测试按规则进行。

H. 5. 3. 2 接口 V1

接口 V1 用于 LTMS 与被测车载设备交换指令和数据。

接口 V1 上的对话由 LTMS 主导,通过发布指令进行管理。在等待车载设备发送报告给 LTMS 时,对话可由 BTM 在任意时间发起,而不管 LTMS 处于何种状态。LTMS 应保证即使偶尔有耗时长长的常规管理任务占用,也不会漏接报告数据,详见 I. 1。

H. 5. 3. 3 接口 T1

接口 T1 用于 LTMS 与 LRRT 间的指令和数据交换。

接口上的对话总是由 LTMS 管理,LRRT 仅在 LTMS 查询时回复,详见 H. 6. 3. 1。

H. 5. 3. 4 接口 T2

接口 T2 用于 LTMS 与 APT 间的指令和数据交换。

接口上的对话总是由 LTMS 管理, APT 仅在 LTMS 查询时回复, 详见 H. 3. 3. 1。

H. 5. 3. 5 接口 T3

接口 T3 用于 LTMS 与 RSG 间交换指令和数据。

此接口上的对话总是由 LTMS 管理, RSG 仅在 LTMS 查询时回复, 详见 H. 2. 3. 1. 1、H. 2. 3. 2. 1、H. 2. 3. 3. 1。

H. 5. 3. 6 接口 T4

接口 T4 用于 LTMS 与 LTOM 交换指令和数据。

此接口上的对话总是由 LTMS 管理, LTOM 仅在 LTMS 查询时回复, 详见 H. 1. 3. 1。

H. 5. 3. 7 接口 T5

接口 T5 用于 LTMS 与功率计间交换指令和数据。

此接口上的对话总是由 LTMS 管理, 功率计仅在 LTMS 查询时回复, 数据交换的细节参照仪器用户手册。

H. 5. 3. 8 接口 T6

接口 T6 用于 LTMS 与网络分析仪交换指令和数据。

此接口上的对话总是由 LTMS 管理, 网络分析仪仅在 LTMS 查询时回复, 数据交换的细节参照仪器用户手册。

H. 5. 3. 9 接口 T7

接口 T7 用于 LTMS 与温湿度传感器交换指令和数据。

此接口上的对话总是由 LTMS 管理, 温湿度传感器仅在 LTMS 查询时回复, 数据交换的细节参照传感器用户手册。

H. 5. 4 性能需求

LTMS 基本功能应具备下列性能:

- a) 工具应支持从数分钟到约 20 h 的不间断测试过程;
- b) 通常条件下, 在当前运行的测试过程为工具的主要任务时, 工具对相关事件的测试响应时间不应大于 0.2 s。当测试过程与其他常规任务同时在工具上执行时, 此响应时间可偶尔被放宽到 1 s~2 s。为防止丢失发来的测试数据或各类输入消息, 应具备充足的缓存;
- c) 工具的存储能力应保证不会在工具容许的等待时间丢失测试相关数据(如 BTM 通过接口 V1 发送的数据报告);
- d) 为使重复性测试过程的测试时间最小化, 针对上行链路或射频能量电流调整的全部闭环操作应在 2 s 内完成;
- e) 在测试崩溃或任何类型的操作后, 测试相关数据的记录应得到适当保护。

H. 6 参考接收机(LRRT)说明

H. 6. 1 运行环境

LRRT 用于分析应答器传输系统(应答器和车载设备)与工具间标准接口(即接口 A 和接口 C)上交互信号的电特性, 以确认满足相关需求。

分析过程属典型的离线型, 在存储一段既定时长的测试信号记录后进行。此工具的主要特点是信号捕获和底层分析(如解调)尽量通过作为前端射频设备的商用仪表执行, 若难于实现, 则由接收机自行完成特定的信号分析算法。

包含 LRRT 的实验室测试环境关联关系如图 H. 7 所示。

根据实际测试步骤, 向 LRRT 传输下列信号:

- a) 上行链路信号 A1: 由被测应答器产生, 由测试天线拾取。对于测试连接的校准, 上行链路信号 A1 也可从 RSG 产生, 经参考环在接口 A 传输, 由测试天线拾取;
- b) 射频能量信号 A4: 由被测车载设备产生, 由参考环拾取。对于测试连接的校准, 射频能量信

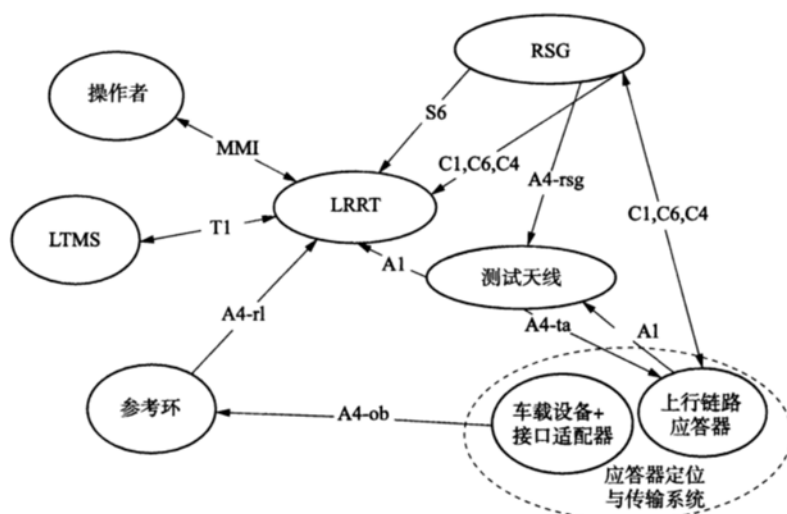


图 H.7 LRRT 运行环境

号 A4 也可由 RSG 产生,经测试天线在接口 A 传输,由参考环拾取;

- c) 接口 C 信号(数据信号 C1 和偏压信号 C6):通过各自的参考阻抗负载测量,阻止信号 C4 通过适配的电流/电压探头在被测应答器的启动瞬间接收。

为允许测试连接的快速确认,或运行简化测试,LRRT 可经操作者通过图形化人机界面(MMI)控制转换到本地模式。

LRRT 通过接口 T1 与 LTMS 交换数据和指令,经 LTMS 控制进入遥控模式。在动态模拟测试案例中,参考接收机接受 RSG 关联于输出信号的快速触发信号(接口 S6)以在适当时刻启动测量。

H.6.2 功能需求

H.6.2.1 基本功能

H.6.2.1.1 概述

LRRT 依据单一或交叉操作模式实现下列基本功能:

- 通过 MMI 与操作者接口;
- 通过 T1 与 LTMS 接口;
- 对被测应答器发出的上行链路(A1)信号执行全部需求的电特性校验,前端信号接收使用测试天线;
- 对被测车载设备发出的射频能量信号(A4)执行全部需求的电特性校验;
- 对 LEU(接口 C1 和 C6 信号在 C 接口电缆的 LEU 端检查)和被测应答器(接口 C4)发出的接口 C 信号,执行全部需求的电特性校验。

H.6.2.1.2 功能要求

对应每个操作模式,LRRT 执行下列一项或一组基本功能:

- 使用足够的采样率进行输入信号采样,在要求的频率分辨率、精度下,保存记录持续时间符合需求的数据;
- 在要求的频率范围与不同等级的频率分辨率下对记录的信号进行频谱或调制分析;
- 对同一媒介内的合成(叠加)信号进行频域内的信号分离;
- 对记录的信号进行不同类型的解调,恢复调制信号或验证完全满足其他要求;
- 在解调后的信号中提取附加信息(如调制时钟恢复),以完成完整的信号分析;
- 对提取的数据进行逻辑分析;
- 执行自检程序,查验需求的前端仪表在特定测试连接中正确接入;

- h) 执行 LTMS 指令并报告测量结果;
- i) 以相关偏差范围为参照,显示测量结果。

H.6.2.1.3 主要部件

LRRT 主要包括 1 台 PC 机和受控的商用仪表,商用仪表进行信号捕获和预分析处理等前端机功能。

LRRT 对捕获数据执行一些商用仪表难于实现的特殊分析,最终,对应需求查验性能实现,向操作者展示清晰明确的报告。

以下给出一组满足测试分析需求的商用前端仪表:

- a) 一台矢量信号分析仪,用于数据捕获、对上行链路信号进行频谱分析和解调;
- b) 一台频谱分析仪,用于评估射频能量信号和接口 C6 信号的频率特性,也可用于评估接口 C6 信号的回波损耗;
- c) 一台数字存储示波器,用于评估射频能量信号、接口 C1、C6、C4 信号的时间特性;
- d) 一台网络分析仪,用于评估接口 C1、C6 的回波损耗。

H.6.2.2 工作模式

H.6.2.2.1 待机与自检模式

上电或完成给定测试过程后进入的默认模式,全部受控仪表保持或重置为其本地控制状态。

在操作者指令下,LRRT 应支持单独查验外部接口及互联设备的正确运行。

H.6.2.2.2 上行链路信号分析(LRRT_1)

H.6.2.2.2.1 概述

上行链路信号 A1 从测试天线的接收环读取,由矢量分析仪进行初步分析,由 LRRT 的 LRRT_1 功能按照应用需求进行最终处理和查验。

H.6.2.2.2.2 信号功率

在 LRRT_1 功能的正常控制下,矢量信号分析仪评估上行链路信号在关注频带内的信号功率。仪器应配置为标量频谱分析仪进行此项测量,此外,可能需要将“中心频率”设定在 $4.24 \text{ MHz} \pm 1.5 \text{ MHz}$ 内,“扫频”在 $0.8 \text{ MHz} \sim 8 \text{ MHz}$ 内,“频率分辨率”在 10 Hz 与 10 kHz 间,“平均因数”在 $1 \sim 10$ 以内。

H.6.2.2.2.3 信号带宽

LRRT_1 功能使用矢量信号分析仪基于测量三个信号功率,完成对上行链路信号带宽进行检查。信号在中心频率的功率(扫频 1 MHz 下测量),与同样使用 1 MHz 扫频、中心频率偏移 $\pm 1 \text{ MHz}$ 后的测定功率比较。

应预先评估实际上行链路信号的平均中心频率。

H.6.2.2.2.4 中心频率与频率偏移

H.6.2.2.2.4.1 仪表及设置

上行链路信号的中心频率与频偏测试,通过前端矢量信号分析仪提供的基于相位解调的信号记录实现。矢量信号分析仪使用下列设置:

- a) 模拟相位解调;
- b) 中心频率设定为 $4.0 \text{ MHz} \sim 4.5 \text{ MHz}$;
- c) 扫频设定为 $1.0 \text{ MHz} \sim 8.0 \text{ MHz}$;
- d) 信号记录持续时间在 $1 \text{ ms} \sim 4 \text{ ms}$ 内。

应预先评估实际上行链路信号中心频率的平均值,用于模拟相位解调的设置过程。

静态和动态模拟条件均适用,对动态模拟条件,信号捕捉和分析应在外部触发脉冲发生后立即启动。

H.6.2.2.2.4.2 附加分析

LRRT_1 功能应在矢量信号分析仪解调数据基础上执行下列附加分析:

- a) 检测对应每个解调后符号的精确时间间隔(时钟恢复);
- b) 针对每个符号持续时间进行相位解调和线性回归,计算相应的中心频率和频率偏移;

- c) 在滑动窗内查找最不利情况的最大和最小位频率,计算中心频率和频率偏移;
- d) 确认有关中心频率和频率偏移的需求是否得到满足。

H.6.2.2.2.5 平均数据速率

LRRT_1 功能基于前端矢量信号分析仪(配置成模拟相位解调器)提供的数据,进行上行链路信号的平均数据速率检测。其他设定,矢量信号分析仪配置与中心频率和频偏测试时相同,适用于静态条件和动态模拟条件。

应预先评估实际上行链路信号的平均中心频率,用于模拟相位解调。

LRRT_1 功能应在矢量信号分析仪解调数据基础上进行下列附加分析;

- a) 对相位解调信号进行线性回归以检测符号转换(过渡)的精确时刻;
- b) 通过分割两个连续转换位的时间,到(前后的)整数符号中,识别每个符号的精确时间间隔点;
- c) 在存储记录的任何可能的符号转换过渡位置起始,测量一定数量的连续符号(100 ~ 2 000 符号可选)的持续时间;
- d) 对定义的位序列,计算平均数据速率;
- e) 移动位序列预定位数(用与前一窗口的重叠百分比表达,可选 1% ~ 100%),重复步骤 c)、d),直到完成对整个捕获信号数据段分析;
- f) 确认全部测算序列满足数据速率需求,打印分析数据记录的最终平均数据速率。

H.6.2.2.2.6 最大时间间隔误差(MTIE)

MTIE 校验的两个类型(MTIE1 和 MTIE2)都可应用于上行链路信号测试,MTIE 校验通过 LRRT_1 功能基于前端矢量信号分析仪(配置成模拟相位解调器)提供的数据实现,其他设置项,在静态条件和动态模拟条件下,矢量信号分析仪均设置为与中心频率和频偏测试相同。

应预先测算实际上行链路信号的平均中心频率和平均数据速率,平均中心频率用于模拟相位解调,平均数据速率用于 MTIE2 校验。

LRRT_1 功能应基于矢量信号分析仪解调数据进行下列附加分析:

- a) 对相位解调信号进行线性回归以检测符号转换(过渡)的精确时刻。
- b) 经过重建符号过渡,识别每个符号的精确时间间隔,使用参考平均数据速率(额定的应答器数据速率)进行 MTIE1 校验,使用之前测定的平均数据速率进行 MTIE2 校验。
- c) 对每个重建的符号,相对参考数据速率,评估其时间抖动。计算出的两个后续符号转换间的整体时间误差应在期间所有等同符号内等分。
- d) 在一个可变长度的观察窗(范围从 1 符号直到窗口总长二分之一位置)内,测算每个符号期间的最大时间误差。观察窗的最初位置逐位移动,从分析窗的第一位,直到最后一位减去观察窗的实际长度。
- e) 确认全部测算观察窗满足 MTIE 需求,打印最终计算 MTIE 数据对不同观察窗长度的曲线图。

H.6.2.2.2.7 幅度抖动

上行链路信号幅度抖动的查验,由 LRRT_1 功能基于前端矢量信号分析仪(配置成模拟幅度解调器)提供的数据进行。其他设置项,对于静态条件和动态模拟条件,矢量信号分析仪均设置为与中心频率和频偏测试相同。

LRRT_1 功能应在矢量信号分析仪幅度解调数据基础上进行下列附加分析:

- a) 在可选持续时间 50 μs ~ 800 μs 的观察窗(中心有一个 1.77 μs 小窗口)内测算解调信号的平均幅度(RMS)。幅度抖动是按 dB 方式表示的小窗口内信号幅度平均值与整个观察窗内幅度平均值的比值,抖动测算在所有可能长度连续窗口内重复,每次较前一位置移动 1.77 μs 。算法应覆盖记录信号的全部持续长度。
- b) 确认全部测算窗满足幅度抖动需求,打印最终获得的幅度抖动数据对各个观察窗中心的曲线图。

H. 6. 2. 2. 2. 8 接口 C1 至接口 A1 延迟时间

LRRT_1 功能基于前端矢量信号分析仪(配置成模拟相位解调器)提供的数据进行自接口 C1 到接口 A1 数据传输延迟时间的评估。其他设置项,对于静态条件和动态模拟条件,矢量信号分析仪均设置为与中心频率和频偏测试相同。

延迟时间测试仅涉及应答器内部延迟,不包含接口 C 电缆的延迟。

应预先测算上行链路信号的实际平均中心频率,用于模拟相位解调。

RSG 传输带有一段已知的时间相关的易识别符号(“参考符号”)的数据流到应答器接口 C1,同时发送同步脉冲给 LRRT,一旦接收到 RSG 发出的触发脉冲,矢量信号分析仪应立即开始捕获并解调上行链路信号。另外,在动态模拟测试中,为保持矢量信号分析仪被预期的应答器启动触发,RSG 应保持与射频能量信号上升斜坡同步。

LRRT_1 功能应对矢量信号分析仪提供的相位解调数据进行下列附加分析:

- 测算数据记录的全部持续时间内的平均数据速率;
- 基于位过渡检测,识别每个符号的精确起始和结束时间;
- 查验定义长度窗口(100 ~ 1 500 符号内选定)内的符号与发送到接口 C1 的符号正确一致;
- 识别对应于 RSG 预定捕获触发信号的“参考符号”,测算相对触发起始的延迟时间,确认符合相关要求。

H. 6. 2. 2. 3 射频能量信号分析(LRRT_2)

H. 6. 2. 2. 3. 1 载频与相位噪声

LRRT_2 功能基于频谱分析仪提供的测量数据度量载频和频率噪声,按特别选定的设置测量射频能量信号的功率谱。此设定包括中心频率(典型的设定在射频能量频率标称值)、扫频范围(中心频率周围 10 kHz ~ 200 kHz 内可选)、带宽分辨率(1.0 Hz ~ 100 Hz 内可选)。

对载频噪声评估的精度要求高,应在应用频带内最小化噪声的环境中进行测量,当难于实现时,应在应用频带内进行背景噪声测量修正,关闭其他所有无关设备。

LRRT_2 功能控制下列步骤:

- 被测设备关闭(如果采用)条件下,进行测试前噪声校准;
- 在选定的设置下测量射频能量信号的功率谱;
- 被测设备关闭(如果采用)条件下,进行测试后噪声校准;
- 确认满足载频需求;
- 测量载频功率,测量在选定频率扫描范围内,以载频为中心 20 kHz 以外,最高幅值(最不利情况)的功率;
- 减去(如果采用)在前、后校准步骤中记录的频谱平均值结果后,测算载频噪声(单位 dBc/Hz)。需对射频能量最劣环境噪声功率进一步放大,以将测量结果从测试中的带宽分辨率转化到需求的 1 Hz 带宽分辨率。
- 确认满足载频和噪声需求,打印噪声校准步骤及射频能量信号分析的全部噪声谱数据。

H. 6. 2. 2. 4 接口 C 信号分析(LRRT_C)

H. 6. 2. 2. 4. 1 接口 C1 信号电特性

LRRT_C 基于数字存储示波器在 LEU 输出端阻性参考负载上采集的适当长度电压数据记录,进行接口 C1 信号的电特性分析。

LRRT_C 功能对采集信号进行下列测量:

- 通过滤波,将 C1 信号从 C6 信号中分离出来。
- 逐个扫描 C1 符号,以获取每次信号转换之前的幅度值。这些数据构成检验最大、最小信号幅值需求的基础。
- DBPL 解码,应用 1 000 ~ 2 000 符号的可选窗口,对上行链路信号平均数据速率测算和校验,

该过程间接检验了 DBPL 编码的正确性。

- d) 时钟抖动的计算和检查使用与“平均数据速率测试”相同的信号记录,根据测算的平均数据速率重建一个数据时钟,计算重建的数据时钟的所有有效边沿与记录数据中“C1”信号实际过零时刻之间的时间差的平均值,作为相位误差。在记录数据中进行多次迭代处理,找到重建数据时钟的最佳相位,使得在该相位条件下的相位误差最小。在记录数据的所有相位变化位置寻找时钟抖动的最大值,判定是否满足最大时钟抖动需求。

H. 6. 2. 2. 4. 2 接口 C1 回波损耗

接口 C1 的回波损耗由 LRRT_C 功能基于网络分析仪(可按 F. 4 描述的过程进行控制)提供的测量数据进行检验。

H. 6. 2. 2. 4. 3 接口 C6 信号电特性

接口 C6 信号的电特性由 LRRT_C 功能基于数字存储示波器在 LEU 输出的参考负载上记录的适当长度电压采集数据进行分析。

从 C1 信号中滤出 C6 信号后,经整流、峰值检测、对 C6 采集数据记录进行滤波,LRRT_C 功能重建 C6 信号幅度时间曲线,幅度曲线的最大和最小值分别按相应需求进行检查。

LRRT_C 功能基于频谱分析仪(配置成频谱分析仪的网络分析仪)提供的测量数据检验 C6 信号频率和谐波成分。

C6 信号频率通过接口 C 信号频谱测量,使用适当的带宽分辨率和扫频范围,以保证充足的频率测量精度和 C1 与 C6 信号谐波的良好分离。检测 C6 信号的基频时应使用频谱分析仪的峰值检测功能。

为区分相同频段内的 C6 信号的高次谐波和 C1 信号,以之前检测的基波的精确倍数为中心,应用窄的扫描设置,并分别检测所有可能的高次谐波频率信号,关注范围内的全部谐波成分的功率相加,与二次谐波一起,检查是否超过限制。

H. 6. 2. 2. 4. 4 接口 C6 的回波损耗

C6 接口的回波损耗由 LRRT_C 功能基于网络分析仪(可按 F. 7 描述的过程进行控制)提供的测量数据检验。

H. 6. 2. 2. 4. 5 接口 C4 信号的电特性

H. 6. 2. 2. 4. 5. 1 校验方法

应答器接口 C 信号通过一块高垂直/水平分辨率数字化板采集,记录适当长度。采集在特定时间(在应答器射频能量磁通刚好达到 Φ_{di} 时,一个触发脉冲提供触发条件)开始执行。

接口 C1 信号应由“1”构成的数据流,等效于 564.48 kHz 的连续方波信号,这时接口 C1 信号所有的谐波均高于 564.48 kHz,则一个低通滤波器能轻易滤除它们。另外,接口 C6 信号应以足够的垂直分辨率(例如优于 12 位)合成,以最小化由于量化效果产生的低频谐波。

RSG_C 连接到应答器端的输出线的一个极,应能够安全地连接到信号采集工具的共地端。

一个经校准的接近 20 Ω 的电阻用于电流探测,应能串联接入应答器火线端(相对前述共地端的另一端)而无损 RSG_C 的幅度驱动能力。

在瞬态条件以及瞬态前后的稳定态条件下,接口 C6 信号通过适配低通滤波器从 C1 接口分离出来,应采用下列措施:

- 5 阶巴特沃斯低通滤波器(无源 H/W),100 kHz 截止频率,用于滤除 C1 接口信号,以允许数字化板能应用更高的垂直分辨率;
- 具备“平顶窗”的低通 FIR 滤波器,50 kHz 截止频率,用于滤除采集信号的量化噪声。

采集信号用于识别以应答器输入电路在不同瞬态下的特性为模型的线性电路的瞬态特征。

为得到足够的时间分辨率,此识别过程应在非常短的小窗口(如 40 μ s)内执行,连续重复多次以覆盖整个瞬态过程。

被测电路阻抗的正弦模数分别在对应接口 C6 信号的最大、标称额定、最小三个频率(8 720 Hz,

8 820 Hz, 8 920 Hz) 下测试, 鉴别算法基于描述两个模仿应答器输入的可能类型线性电路(串联 RL 电路或并联 RC 电路)的纯微分方程。这样的算法提供最近似串联 RL 或并联 RC 电路在瞬态前后的稳定态条件下的阻抗瞬态情况。

C4 信号的启动时刻定义为, 在传输电缆末端(应答器端)应答器的模化输入阻抗降到 TB/T 3485—2017 规定的限制值时刻, 该时刻用于度量从触发事件到信号采集的时间延迟。

C4 脉冲信号的结束时刻定义为, 在传输电缆末端(应答器端), 应答器的模化输入阻抗升到 TB/T 3485—2017 规定的限制值时刻, 此时刻结合前面定义的起始时刻用于度量低阻抗持续时间。

H. 6. 2. 2. 4. 5. 2 校验内容

LRRT_C 功能校验下列特性:

- 相对于外部触发瞬间的阻止脉冲时间的延迟;
- 阻止脉冲的持续时间;
- 稳态条件和阻止脉冲期间的阻抗值。

H. 6. 3 外部接口

H. 6. 3. 1 接口 T1

H. 6. 3. 1. 1 基本功能

接口 T1 用于从 LTMS 到 LRRT 交换指令和设置数据, 以及 LRRT 向 LTMS 报送测试结果。

H. 6. 3. 1. 2 LTMS 向 LRRT 数据传输内容

LTMS 到 LRRT 下发指令和数据包括:

- LRRT 功能自检和校准;
- 启动或故障后重启;
- 从在线模式转换到离线模式, 及相反操作;
- 激活或关闭一个或多个功能(LRRT_1, LRRT_2, LRRT_C);
- 查询运行状态;
- 对每个所需测量进行变量输入及仪器设定。

表 H. 10 给出 LTMS 对 LRRT 基本功能指令清单。

表 H. 10 LTMS 对 LRRT 指令表

LRRT_Mng	LRRT_1	LRRT_2	LRRT_C
常规重启	LRRT_1 自检	LRRT_2 自检	LRRT_C 自检
LRRT_Mng 状态	LRRT_1 重启	LRRT_2 重启	LRRT_C 重启
激活 LRRT_1	LRRT_1 状态	LRRT_2 状态	LRRT_C 状态
激活 LRRT_2	LRRT_1 关闭	LRRT_2 关闭	LRRT_C 关闭
激活 LRRT_C	信号功率	载频及频率噪声	C1 信号电平
打开 EXCEL 文件	信号带宽	信号频谱	C1 数据速率
从文件输入	中心频率及频偏	调制频率	C1 抖动
输出到文件	平均数据速率	—	C1 回波损耗
从文件打印	MTIE1	—	C6 幅度
—	MTIE2	—	C6 频率
—	幅度抖动	—	C6 谐波
—	C1/A1 延迟	—	C4 特性

H. 6. 3. 1. 3 LRRT 向 LTMS 数据传输内容

LRRT 报送 LTMS 的数据包括:

- a) 确认一条 LTMS 指令;
- b) 工具状态(如:忙、等待、激活、错误代码等);
- c) 测量结果。

H. 6. 3. 2 快速触发接口 S6

此接口用于快速触发前端仪器,启动相应输入信号的采集和分析。此情况下仪器启动所需操作的时间延迟对完成相应测量的精度存在重要影响。仪器需在估算触发事件发生之前,预先设定到相应 LRRT 功能需要的配置状态。

S6 接口为持续时间 $1\ \mu\text{s} \sim 10\ \mu\text{s}$ 的典型正极性短脉冲,通常在相关应答器射频能量或接口 C 瞬态事件的预定时刻由 RSG 发出。

H. 6. 3. 3 人机接口(MMI)

对每项测量或组合测量,适配的图形接口方便操作者在工具处于本地模式下,发送与 LTMS 控制相同的指令和数据,同样 MMI 应支持简洁地显示测试结果,和一些可能的中间测试数据,并支持以图形方式离线放大和重新缩放测量结果。

MMI 应支持测试数据存储到文件和打印输出测试报告。

H. 6. 4 性能需求

H. 6. 4. 1 LRRT_1

LRRT_1 性能需求如下:

- a) 信号功率:精度优于 0.5 dB;
- b) 信号带宽:频率分辨率优于 10 kHz;
- c) 中心频率及频率偏移:精度优于 5 kHz;
- d) 平均数据速率:精度优于 0.01%;
- e) MTIE1 和 MTIE2:精度优于 50 ns;
- f) 幅度抖动:精度优于 0.2 dB;
- g) 接口 C1/A1 延迟时间:精度优于 100 ns。

H. 6. 4. 2 LRRT_2

LRRT_2 性能需求如下:

- a) 载频:精度优于 50 Hz;
- b) 载波噪声:参考环引入背景噪声低于 -120 dBm;
- c) 载波噪声:频率分辨率优于 1 Hz;
- d) 载波噪声:输入信号动态范围高于 110 dB;
- e) 调制频率:精度优于 1 Hz。

H. 6. 4. 3 LRRT_C

LRRT_C 性能需求如下:

- a) 接口 C1 信号电平:精度优于 100 mV;
- b) 接口 C1 平均数据速率:精度优于 0.001%;
- c) 接口 C1 时间抖动:精度优于 10 ns;
- d) 接口 C1 回波损耗:精度优于 0.5 dB;
- e) 接口 C6 信号电平:精度优于 100 mV;
- f) 接口 C6 频率:精度优于 0.01%;
- g) 接口 C6 谐波功率:优于 0.5 dBm;
- h) 接口 C6 回波损耗:精度优于 0.5 dB;
- i) 接口 C4:阻抗精度优于 10%;
- j) 接口 C4:时间精度/分辨率优于 10 μs 。

附录 I

(资料性附录)

BTM 及天线单元测试接口

I.1 接口 V1

I.1.1 概述

接口 V1 定义了测试管理系统 LTMS 与车载设备 BTM 之间数据交换,以便于进行 BTM 相应测试项目的测试。本接口可能需要通过设备制造商提供接口 V1 适配器,将 BTM 系统内部数据转换为能与测试系统兼容的测试数据格式和时序。

I.1.2 操作数据

I.1.2.1 模式选择 (TESTCONF)

变量 TESTCONF 包含测试配置数据,通过接口 V1 由 LTMS 发送到 BTM。在测试中,这个配置用来设置车载设备的工作模式,包含下列选项:

- a) 测试模式;
- b) 连续波;
- c) 启用/禁用下行链路传输;
- d) 射频能量开关。

变量 TESTCONF 是由 7 个 ASCII 码组成的字符串,见表 I.1。

表 I.1 TESTCONF 变量结构

字节数	含 意	值
字节 1	测试模式:开/关	“0” = 关;“1” = 开
字节 2	分隔符	“ _ ”
字节 3	射频能量模式:连续波	“0” = 连续波;“1” = 预留
字节 4	分隔符	“ _ ”
字节 5	下行链路:开/关	“0” = 关;“1” = 开
字节 6	分隔符	“ _ ”
字节 7	射频能量:开/关	“0” = 关;“1” = 开

测试中,每当 LTMS 需要车载设备进入一种新的工作模式时,LTMS 便发送一个新 TESTCONF 变量。LTMS 等待被测车载设备发送的应答信号以确认转换到要求的操作模式,该信号包含在 BTMSTAT 变量中,最长等待 1 s,同时,LTMS 也接收 BTM 发送的 ANTTEST 变量,以确认相关测试设备(天线、发送、接收等)处于正常状态,最长等待 5 s。

LTMS 同时检查连续的 ALIVE 变量,该信号以约 5 s 为周期,由被测设备向 LTMS 发送。

I.1.2.2 BTM 状态 (BTMSTAT)

变量 BTMSTAT 是由被测车载设备向 LTMS 发送的测试状态,是对 LTMS 发送新操作模式请求的响应,在模式选择命令发出后最多 1 s 内,应发送响应信号。

变量 BTMSTAT 是由 11 个 ASCII 码组成的字符串,见表 I.2。

表 I.2 BTMSTAT 结构

字节数	含 意	值
字节 1 – 字节 3	帧头;公司缩写	“XYZ”
字节 4	分隔符	“ _ ”
字节 5	测试模式;开/关	“0” = 关;“1” = 开
字节 6	分隔符	“ _ ”
字节 7	射频能量模式;连续波	“0” = 连续波;“1” = 预留
字节 8	分隔符	“ _ ”
字节 9	下行链路;开/关	“0” = 关;“1” = 开
字节 10	分隔符	“ _ ”
字节 11	射频能量;开/关	“0” = 关;“1” = 开

I.1.2.3 链路状态 (ALIVE)

变量 ALIVE 由被测车载设备每 5 s 周期性发送给 LTMS,以确定设备及与 LTMS 的连接是否正常。
链路的正常状态是由一个模 10 计数器指示,每次传输该计数器加 1。计数器的状态包含在变量 ALIVE 中。
变量 ALIVE 是由 4 个 ASCII 码组成的字符串,见表 I.3。

表 I.3 ALIVE 结构

字节数	含 意	值
字节 1 ~ 字节 3	帧头;公司缩写	“XYZ”
字节 4	模 10 计数器;当前值	“0”,“1”,“2”,…,“9”,“0” …

I.1.3 测试数据

I.1.3.1 自检报告 (ANTTEST)

变量 ANTTEST 是用来通知 LTMS 被测车载设备的状态。当设备检测到故障或收到 LTMS 发送的 TESTCONF 信号开启测试状态 (Test Mode ON) 时,向 LTMS 发送该信号,在后一种情况下,ANTTEST 响应最大延迟时间为 5 s。
变量 ANTTEST 是由 5 个 ASCII 码组成的字符串,见表 I.4。

表 I.4 ANTTEST 结构

字节数	含 意	值
字节 1 ~ 字节 3	帧头;公司缩写	“XYZ”
字节 4	分隔符	“ _ ”
字节 5	工作状态;故障/无故障	“0” = 故障;“1” = 无故障;“2” = 适配器故障

I.1.3.2 通过应答器报告 (BAL_PASS)

变量 BAL_PASS 是由 263 个 ASCII 码组成的字符串,见表 I.5,如无特别说明,所有的数字均为十进制。

表 I.5 BAL_PASS 结构

字节数	含 意	值
1 ~ 3 字节	帧头;公司缩写	“XYZ”
4 字节	分隔符	“ _ ”

表 I.5 BAL_PASS 结构(续)

字节数	含 意	值
5 ~ 212 字节	解码后用户数据: ASCII 码形式的十六进制“0”,“1”,“2”, ..., “9”, “A”, ... “F”,与 4 位为一组的值相对应。 在短报文中,有 6 位不使用(bit211 ~ bit216),这些值 均设为 0。 在长报文中,有 2 位不使用(bit831 和 bit832),这些值 均设置为 0。 短报文中,不用的字符用空格来表示。 如果检测到应答器但没有有效数据接收,本字段必须 全部填充为 ASCII 码的“X”	“H ₀ ” = Hex(bit 0 ~ bit 3) “H ₁ ” = Hex(bit 4 ~ bit 7) “H ₂ ” = Hex(bit 8 ~ bit 11) “H ₂₀₈ ” = Hex(bit 829 ~ bit 832)
213 字节	分隔符	“ _ ”
214 ~ 224 字节	应答器时间定位: TBAL 给出通过应答器中心的绝对时间。 TBAL 是 11 个 ASCII 码的字符串,来表示时、分、秒、毫 秒、百微秒。 如果这个变量没有被使用,相应的区域用空格表示	“HH”—时 “MM”—分 “SS”—秒 “.”—小数点 “mmm”—毫秒 “μ”—百微秒
225 字节	分隔符	“ _ ”
226 ~ 235 字节	应答器的距离定位: MBAL 给出了应答器中心距离参考点的绝对距离。 MBAL 是由 10 个 ASCII 码组成的字符串,距离单位为 毫米。 如果这个变量未被使用,这个值用 ASCII 码的空格来 表示	“mmmmmmmmmm”—毫米
236 字节	分隔符	“ _ ”
237 ~ 247 字节	BTM 报告时间: TBTM 给出了当变量 BAL_PASS 可对外部有效时的绝 对时间。 TBTM 是 11 个 ASCII 码的字符串,表示时、分、秒、毫 秒、百微秒	“HH”—时 “MM”—分 “SS”—秒 “.”—小数点 “mmm”—毫秒 “μ”—百微秒
248 字节	分隔符	“ _ ”
249 ~ 254 字节	无重叠的有效报文的总帧数: TEL 是 6 个 ASCII 码的字符串,给出接收到报文的十 进制数。 也可选择给出有效报文的百分比。 如果此变量未被使用,此区域用空格来表示	“M”—千 “H”—百 “D”—十 “U”—个 “.”—小数点 “T”—十分之一
255 字节	分隔符	“ _ ”
256 ~ 257 字节	接收等级: RXCL 是 2 个 ASCII 码的字符串,给出接收等级	“A”—无错误校正 “B1”—错误校正类型 1 “B2”—错误校正类型 2 “B _n ”—错误校正类型 n
258 字节	分隔符	“ _ ”
259 ~ 263 字节	有效报文的百分比: PTEL 是 5 个 ASCII 码的字符串,它以十进制数给出收 到有效报文的百分比。 也可选择给出无重叠有效报文的总数。 如此变量未被使用,用空格代替	“H”—百 “D”—十 “U”—个 “.”—小数点 “T”—十分之一

在接收一个上行链路应答器信号后,被测车载设备向 LTMS 发送下列数据:

- a) 从接收到报文中提取的解码后的用户数据;
- b) 应答器定位数据(距离给定参考点的绝对时间和/或距离);
- c) 两相连报告之间无重叠有效报文数目:两相连报告之间正确比特总数/1023(长报文);两相连报告之间正确比特总数/341(短报文);
- d) 一个报告周期内无重叠有效报文数目占全部无重叠有效报文的百分比(制造商可根据自身情况加入修正系数);
- e) BTM 报告时间(数据在车载有效的时间);
- f) 接收等级:
 - A 级,没有错误校正;
 - B_n 级,发生错误校正(*n* 由制造商确定)。

LTMS 对变量 BAL_PASS 值进行逻辑检查,丢失的或错误的报告认为应答器上行链路信号没有被正确接收。

在低速情形下,车载设备可通过接口 V1 发送周期性的报告。在应答器作用条件下,报告周期应在 50 ms ~ 600 ms 之间。

接口 V1 适配器将从被测车载设备接收到的数据转换成变量 BAL_PASS 形式,然后发送给 LTMS。LTMS 应有内部缓存能力,当 LTMS 需处理比与接口 V1 的通信更紧急的任务时,可延迟对接口 V1 上的实时数据处理。缓存大小要求如下:当车载设备持续接收到应答器数据时(例如:当天线停在应答器上面时),缓存应能够接收 20 s 的测试数据,确保不遗失。缓存可为循环的形式。这表示,当有连续的测试数据流时,一些 20 s 以前的旧数据可由 LTMS 丢掉。

I. 2 接口 V2

I. 2. 1 概述

V2 接口定义了 LTOM 与车载设备间的数据交换,以便于进行 BTM 测试。在测试时,可能需设备制造商提供接口 V2 适配器,将测试设备内部数据转换成为所需的格式。

LTOM 给出的值应体现整个测试任务中的实际状况,要求接口尽可能规律、无中断地发送,发送的数据应是连贯的,而且在所有可能的操作模式下,均不可间断。

I. 2. 2 接口 V2 数据

LTOM 通过接口 V2 周期性传输下列数据:

- a) 车载天线中心距离测试任务起始点或上一“复位”点的当前位移;
- b) 距离测试任务起始或者上一“复位”时刻的当前时间;
- c) 当前时间里程坐标的可信度;
- d) 车载天线当前速度(实际或模拟);
- e) 对发送数据进行周期性和完整性检查的数据(序列号和 CRC)。

上述数据按照表 I. 6 格式组织,每 50 ms 通过串行方式发送一次。

整条数据包传输时间应足够短(如小于 2 ms),以最小化速度与时间误差。

数据传输周期应足够稳定(不确定性小于 5 μs),基于所传输数据的时间或位移测算,应有足够高的准确度(例如,基于事件的时间准确度高于 0. 1 ms,位移准确度高于 10 mm)。

序列号由一个模 255 计数器构成,每发送一次数据,该计数器加 1,用于车载设备(或 V2 适配器)检查 LTOM 功能及 V2 链路的规律性。

表 I. 6 接口 V2 数据格式

序号	字段名	格 式	分辨率	注 释
1	距离	无符号整数 4 字节	1 cm	天线当前的绝对位置(自上次重启后)

表 I.6 接口 V2 数据格式(续)

序号	字段名	格 式	分辨率	注 释
2	距离误差	无符号整数 4 字节	1 cm	制造商特定应用预留
3	速度	有符号整数 2 字节	0.01 m/s	天线运动速度和方向
4	时间	无符号整数 4 字节	0.1 ms	数据发送时的绝对时间(自上次重启后)
5	时间误差	无符号整数 1 字节	0.1 ms	制造商特定应用预留
6	序列号	无符号整数 1 字节	—	用于检查传输规律性
7	CRC	4 字节	—	用于检查数据完整性

通过 CRC 保证传输数据的完整性,采用以下生成多项式,初值为 0x00FF0000,每字节高位首先发送:
 $X^{32} + X^{30} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{20} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^0$
LTOM 和被测车载设备之间无握手过程。

当接口适配器检测到接口 V2 数据周期恶化到不可接受时,应通知 LTMS。该过程通过向接口 V1 自主发送 ANTTEST 信号(取值“2”,表示适配器故障)实现。之后,LTMS 应终止并重启正在进行的测试。

I.3 接口 V4

I.3.1 概述

接口 V4 定义了由 LTOM 传给被测车载设备的信号,以便于进行 BTM 测试。在测试时,可能需设备制造商提供接口 V4 适配器,将信号转换为车载设备所需的电平和型式。

接口 V4 应体现整个测试任务中的实际状况,要求接口尽可能规律、无中断地馈入,信号应是连贯的,且在所有可能的操作模式下均不间断。

I.3.2 接口 V4 信号

接口 V4 由一对同步的方波信号构成,其周期对应于车载天线沿纵向走行的预定距离,相位差对应走行方向。

在测试中,LTOM 产生的实时速度信号以与真实速度传感器相同方式馈入车载设备。

LTOM 可配置为方波周期对应的距离为 1 mm ~ 50 mm,分辨率为 1 mm。

两信号间相位差,正向速度为 90°,反向速度为 -90°。

为使在加速/减速时获得最佳精度,LTOM 在每个波形瞬间(4 次/每周期)完成信号频率更新。

I.4 物理接口及链路控制

I.4.1 结构

I.4.1.1 接口 V 连接

接口 V 连接如图 I.1 所示。

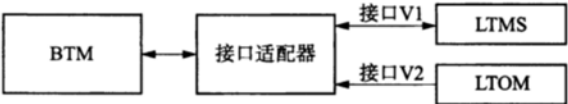


图 I.1 接口 V 示意

I.4.1.2 接口 V1 数据传输内容

接口 V1 传递下列信息变量:

- a) 模式选择;
- b) 模式状态;
- c) 链路状态;
- d) 自检报告;

- e) 通过应答器报告。
各变量长度不同,无校验机制,并以不同的频度或时机依次传输。

I.4.1.3 接口 V2 数据传输内容

接口 V2 传输下列信息变量:

- a) 距离;
- b) 距离误差;
- c) 速度;
- d) 时间;
- e) 时间误差;
- f) 序列号。

各不同长度的变量数据打成一包发送,采用 32 位 CRC 校验,发送周期 50 ms。

I.4.2 物理接口

I.4.2.1 概述

接口 V1 与接口 V2 是两个独立的传输通道。
接口 V1 通道为全双工通信,接口 V2 通道为单工通信,无握手信号。
接口 V1 采用两对屏蔽双绞线,接口 V2 采用一对屏蔽双绞线,电缆标称特性阻抗 120 Ω。
接口符合 RS-485 标准。
适配器的连接器定义与分配由设备制造商确定。

I.4.2.2 接口 V1 机械数据

接口 V1 采用 9 针 DSUB 连接器(D 型数据接口连接器),管脚分配如表 I.7 所示。
电缆的 LTMS 端为母头,电缆的接口适配器端为公头。
接口 V1 物理配置见图 I.2,LTMS 应有终端电阻(LTMS 电缆连接器的 4、5 脚之间应连接有负载电阻), R_L 为 $110\ \Omega \pm 10\ \Omega$, R_B 为 $650\ \Omega \pm 30\ \Omega$ 。
接口 V 适配器端也可根据实际连接配置方式从外部连接终端电阻。

表 I.7 接口 V1 管脚分配

适配器端(制造商确定)		LTMS 端	
管脚号	信 号	管脚号	信 号
—	适配器传输正极	1	地
—	适配器传输负极	2	地
—	地	3	无连接
—	LTMS 传输正极	4	适配器传输正极
—	LTMS 传输负极	5	适配器传输负极
—	—	6	无连接
—	—	7	无连接
—	—	8	LTMS 传输正极
—	—	9	LTMS 传输负极

I.4.2.3 接口 V2 机械数据

接口 V2 采用 9 针 DSUB 连接器,管脚分配见表 I.8。
LTOM 端电缆接头应为母头,适配器端电缆接头应为公头。
接口 V2 物理配置见图 I.3,图中 R_L 为 $110\ \Omega \pm 10\ \Omega$, R_B 为 $650\ \Omega \pm 30\ \Omega$ 。

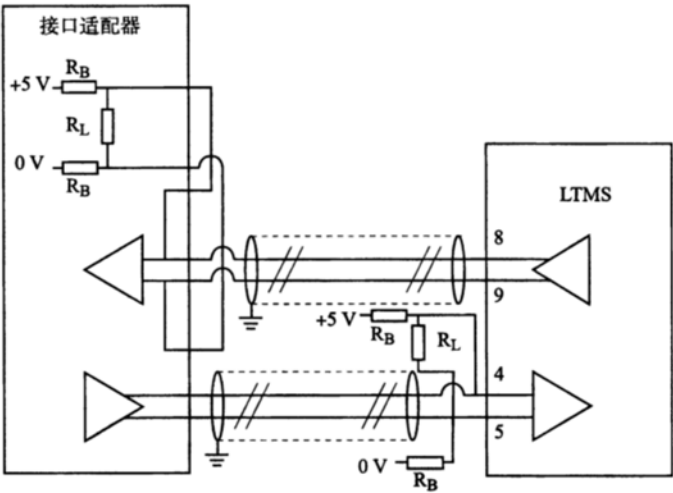


图 I.2 接口 V1 物理配置

接口 V 适配器端也可根据实际连接配置方式从外部连接终端电阻。

表 I.8 接口 V2 管脚分配

适配器端(制造商确定)		LTOM 端	
管脚号	信 号	管脚号	信 号
—	—	1	地
—	—	2	地
—	地	3	无连接
—	LTOM 传输正极	4	无连接
—	LTOM 传输负极	5	无连接
—	—	6	无连接
—	—	7	无连接
—	—	8	LTOM 传输正极
—	—	9	LTOM 传输负极

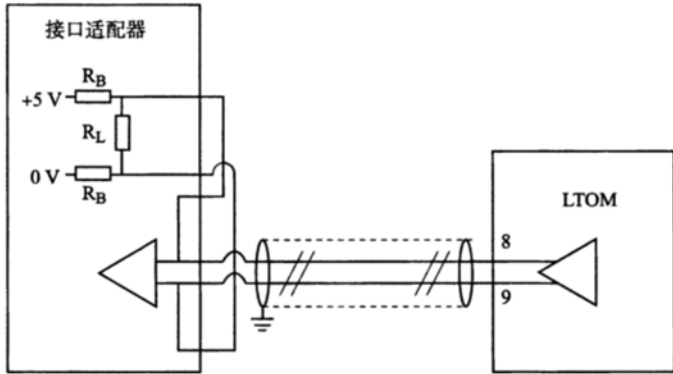


图 I.3 接口 V2 物理配置

I. 4. 3 链路控制

I. 4. 3. 1 概述

通信通道为 RS-485 标准,参数如下:

- a) 数据速率:115.2 kbit/s;
- b) 信道空闲状态为高电平(逻辑“1”);
- c) 无奇偶校验;
- d) 1 位开始位(一个“0”);
- e) 8 位数据位(直接 NRZ 编码);
- f) 1 位停止位(一个“1”)。

I. 4. 3. 2 接口 V1

接口 V1 数据采用依次发送原则传输,每个变量数据应标识有唯一的帧头、一个序列号、数据长度信息以及一个 32 位 CRC。数据包格式见表 I. 9。

表 I. 9 接口 V1 数据包格式

帧 头	序列号	数据长度	变 量	CRC
1 字节	1 字节	2 字节	X 字节	4 字节

帧头为 1 个字节,为每种变量类型指定唯一标识,取值见表 I. 10。

序列号为 1 个字节,包含有一个模 256 计数器(0 ~ 255,每种数据单独计数),每当数据发送时加 1,上电初始化或接口适配器复位时清 0。

数据长度域为 2 个字节,表示每种变量类型的字节数,高位优先。

CRC 域根据发送数据流计算(包含帧头、序列号、数据长度、变量),生成多项式为:

$$X^{32} + X^{30} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{20} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^0$$

32 位移位寄存器初始值为 0x00FF0000。

CRC 计算示例见表 I. 10,表中数值为十六进制。

表 I. 10 CRC 示例

举 例	帧 头	序列号	数据长度	变 量	CRC
举例 1	02	25	0004	1234 5678	0803 42A4
举例 2	02	25	0004	90AB CDEF	3215 C066

数据流由最高位开始发送,每个字节从最高位开始发送。

当 LTMS 检测到数据包丢失(使用“序列号”)或检测到数据冲突(通过“CRC”)时,应终止当前测试过程,并重启测试。

各类数据包头及数据长度定义见表 I. 11。

表 I. 11 接口 V1 数据包帧头及数据长度定义

数据类型	帧头(十进制)	数据长度(十进制)
模式选择(TESTCONF)	0	7
BTM 状态(BTMSTAT)	1	11
连接状态(ALIVE)	2	4
自检报告(ANTTEST)	3	5
应答器通过报告(BAL_PASS)	4	263

I.4.3.3 接口 V2

接口 V2 数据包由 16 字节变量数据与 4 字节 CRC 构成,变量发送顺序如下:

- a) 距离,4 字节
- b) 距离误差,4 字节;
- c) 速度,2 字节;
- d) 时间,4 字节;
- e) 时间误差,1 字节;
- f) 序列号,1 字节。

CRC 域根据发送数据流计算(包含帧头、序列号、数据长度、变量),生成多项式为:

$$X^{32} + X^{30} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{20} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^0$$

32 位移位寄存器初始值为 0x00FF0000。

CRC 说明见附录 I.4.3.2。

数据流由最高位开始发送,每个字节从最高位开始发送。

如果接口适配器检测到接口 V2 出现不可接受的数据冲突,将通过接口 V1 不定期传输的自检报告(变量 ANTTEST),通知 LTMS,此时,ANTTEST 变量的值为“2”,表示适配器故障,之后,LTMS 将终止当前测试过程,并重启测试。

I.4.4 接口 V1 同步机制

I.4.4.1 概述

接口 V1 通信过程中,在下列四种场景中需进行同步:

- a) 场景 1:BTM 在接口 V1 驱动之前启动(初始化时);
- b) 场景 2:接口 V1 驱动在 BTM 之前启动(初始化时);
- c) 场景 3:接口 V1 驱动重启,BTM 保持开启(重启时);
- d) 场景 4:BTM 重启,接口 V1 驱动器保持开启(重启时)。

接口 V1 与 BTM 同步的基本机制是,对于 BTMSTAT、ALIVE、ANTTEST 或 BALPASS 信号,接口 V1 内部的序列号 SN 为 0 时,接口 V1 驱动根据从 BTM 收到的 SN 更新其内部 SN,参见 I.4.4.6。

I.4.4.2 场景 1——BTM 在接口 V1 驱动之前启动

通常为场景 1,接口 V1 内部与收到的 ALIVE 信号同步,见图 I.4。

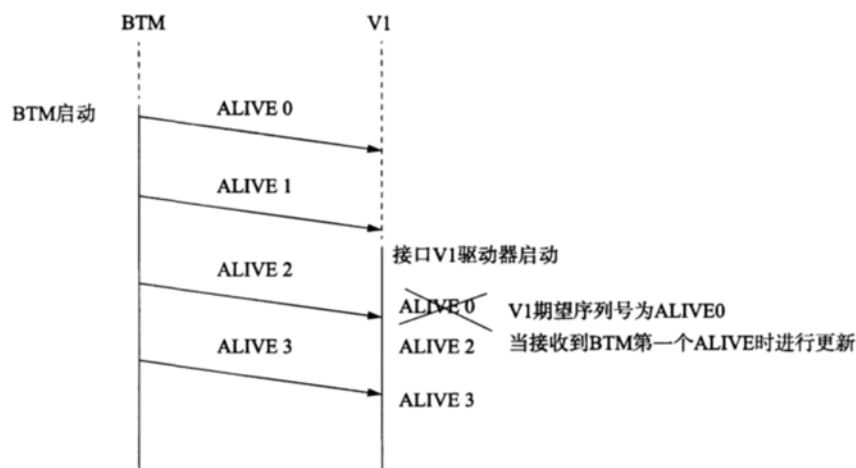


图 I.4 场景 1 同步

I.4.4.3 场景 2——接口 V1 驱动在 BTM 之前启动

由于 BTM 通常在接口 V1 之前打开,因此场景 2 不是常态,但此情况可能发生。发生时,接口 V1

等待一段时间以接收 BTM 发送的 ALIVE 信号,如仍无 ALIVE 信号则给出超时错误,见图 I.5。

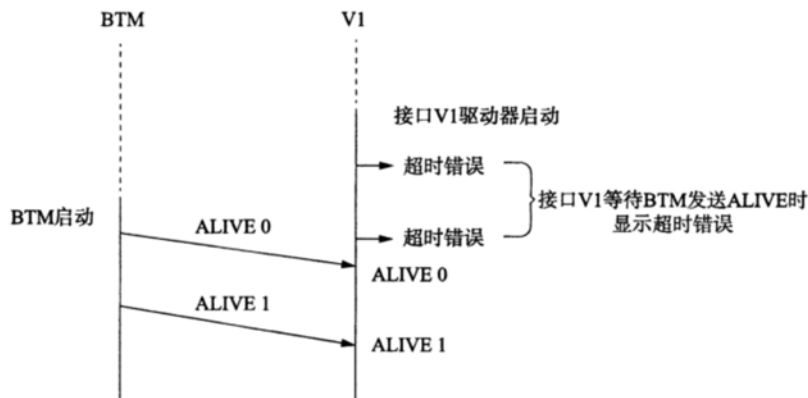


图 I.5 场景 2

I.4.4.4 场景 3——接口 V1 驱动重启而 BTM 保持开启

场景 3 时有发生。如果一个测试过程结束后,关闭了接口 V1,而没有关闭 BTM,另一个新测试开始时,重启了接口 V1,此时接口 V1 需要与 BTM 同步。

见图 I.6,接口 V1 在某个时间点重启,首次接收到 BTM 信号时,同场景 1 一样同步自身状态。这个过程对于 ALIVE、BTMSTAT、ANTTEST 以及 BALPASS 均适用。

当接口 V1 重启后发送 TESTCONF 信号时,BTM 同步过程见图 I.7,BTM 对第一个 TESTCONF 不发出 BTMSTAT 信号,需要第二个 TESTCONF 信号以继续通信。

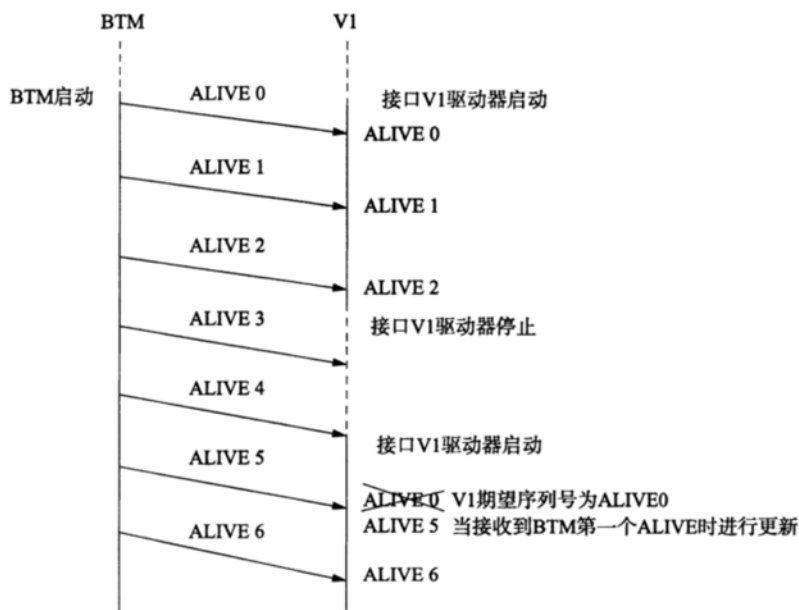


图 I.6 场景 3 ALIVE 信号

BTM 的行为与 BTM 具体实现相关,本文档只表明接口 V1 驱动的行为。场景 3 中,可能出现某些 BTM 在第一次 TESTCONF 发送时,就发出 BTMSTAT 和/或 ANTEST 信号,只要 SN 正确更新,也可认为是正确的实现。

I.4.4.5 场景 4——BTM 重启而接口 V1 驱动器保持开启

从测试流程来看,本场景为异常状态。如果接口 V1 激活,表明正在进行测试,在测试进行过程中,

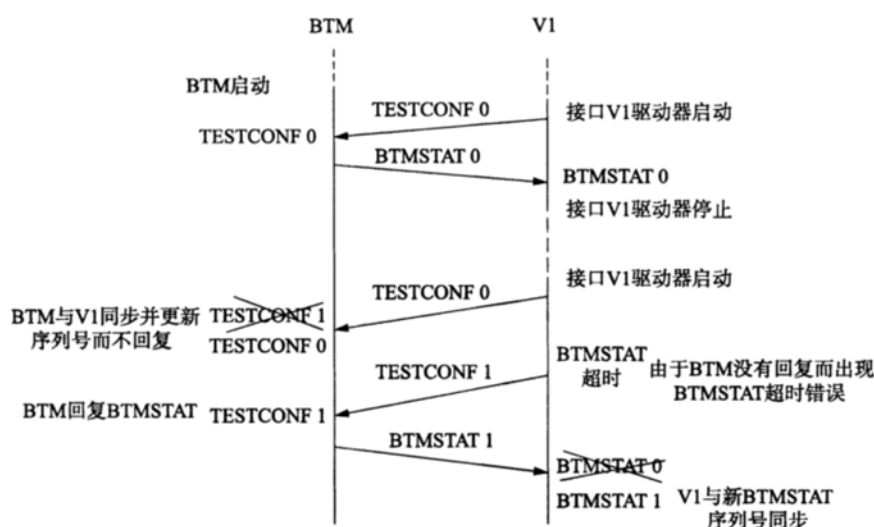


图 I.7 场景3 TESTCONF 信号

BTM 不被重启。如果测试过程中 BTM 重启,这是因为 BTM 发生故障,此情况下,应停止测试过程,并使用正常工作的 BTM 重新测试,BTM 和接口 V1 驱动根据场景 1 重启并同步。

I.4.4.6 接口 V1 驱动器机制

接口 V1 驱动器实现下列功能:

- a) 发送一个 TESTCONF 信号,并等待 BTM 发送相应 BTMSTAT 信号,执行下列操作:
 - 1) 收到 BTMSTAT 时,通过指示灯显示接收到的状态;首次收到(接口 V1 SN=0)时不检查 BTMSTAT 相应中的 SN 信号,根据从 BTM 收到的信号更新自身 SN,不显示错误,在后续接收时,驱动器检查收到的 SN,如果与其自身不同,显示“Stat Sequence Number”错误;如果 BTMSTAT 返回了与 TESTCONF 状态不同的状态,报错“BTMSTAT error”,指示灯熄灭;如果在延时范围外收到了 BTMSTAT,显示“Stat Time out”错误。
 - 2) 没有收到 BTMSTAT 时,显示错误“Stat Time out”、“BTMSTAT error”。
- b) 当接口 V1 驱动发送一个 TESTCONF 信号,且设置测试模式为 ON 时,同时等待 BTM 发送相应的 ANTTEST 信号,执行下列操作:
 - 1) 收到 ANTTEST 时,在 ANTTEST 显示里显示制造商的三位缩写以及收到的状态信息;首次收到(接口 V1 SN=0)时不检查 ANTTEST 响应中的 SN 信号,根据从 BTM 收到的信号更新自身 SN,不显示错误,在后续接收时,驱动器检查收到的 SN,如果与其自身不同,显示“Ant Test Sequence Number”错误;如果故障状态不为 1,显示“Ant Test Health”错误;如果在延时范围外收到了 ANTTEST,显示“Ant Test Time out”错误。
 - 2) 没有收到时,显示错误“Ant Test Time out”。
- c) 接口 V1 驱动连续检查不定期收到的 ANTTEST 信号,执行下列操作:
 - 1) 显示制造商 3 位缩写以及收到的状态信息。
 - 2) 首次收到(接口 V1 SN=0)时,不检查 ANTTEST 响应中的 SN 信号,根据从 BTM 收到的信号更新自身 SN,不显示错误。在后续接收时,驱动器检查收到的 SN,如果与其自身不同,显示“Ant Test Sequence Number”错误。
 - 3) 如果工作状态不为 1,显示“Ant Test Health”错误。
- d) 接口 V1 驱动连续等待 BTM 链路状态,执行下列操作:
 - 1) 收到 ALIVE 信号时,显示制造商的三位缩写及 ALIVE 中的模 10 计数器;首次收到(接口 V1 SN=0)时,不检查 ALIVE 中的 SN 信号,根据从 BTM 收到的信号更新自身 SN,不显

示错误,在后续接收时,驱动器检查收到的 SN,如果与其自身不同,显示“ALIVE Sequence Number”错误;首次收到(接口 V1 SN = 0)时,不检查 ALIVE 中的模 10 计数器,根据从 BTM 收到的信号更新自身状态,不显示错误,在后续接收时,驱动器检查收到的模 10 计数器,如果与其自身不同,显示“Alive Modulo 10”错误;首次收到(接口 V1 SN = 0)时,不检查收到 ALIVE 的周期 + 公差,不显示错误,在后续接收时,驱动器检查收到 ALIVE 是否在周期 + 公差范围内;

- 2) 如果没有收到 ALIVE 或者周期超出公差范围,显示“Aliveperiod”错误。
- e) 接口 V1 驱动连续检查是否从 BTM 接收到 BAL_PASS 信号,收到时执行下列操作:
- 1) 在 BAL_PASS 表中显示收到的 BALLPASS 信号;
 - 2) 首次收到(接口 V1 SN = 0)时,不检查 BAL_PASS 中的 SN 信号,根据从 BTM 收到的信号更新自身 SN,不显示错误,在后续接收时,驱动器检查收到的 SN,如果与其自身不同,显示“Bal_Pass Sequence Number”错误。

附录 J
(资料性附录)
参考测试设备制作方法

J.1 概述

本附录描述接口 A 参考测试设备推荐的制作方法,包括参考环、测试天线、激励天线和巴伦。如果采用其他制作方式,应符合附录 E 规定的要求,且精度不低于本附录要求。

J.2 参考环

J.2.1 参考环设计

J.2.1.1 整体设计

参考环是围绕有效参考区域的环状导体,为提高测量精度、降低对电场的敏感度、使电流路径为参考区域边沿,需要对参考环进行调谐。

参考环需在两个频带内调谐,为测量天线单元输出,参考环需调谐在 27.095 MHz,当用于产生与应答器输出等效的磁场时,参考环需调谐在 4.23 MHz。这里,调谐是指参考环的输入电抗减到最小(即接近于零)。

大尺寸参考环按图 J.1 所示整体结构设计,参考环的金属部分由 8 节实心铜条制成,相互之间通过图 J.3 所示的印制电路板元件连接。

单位为毫米

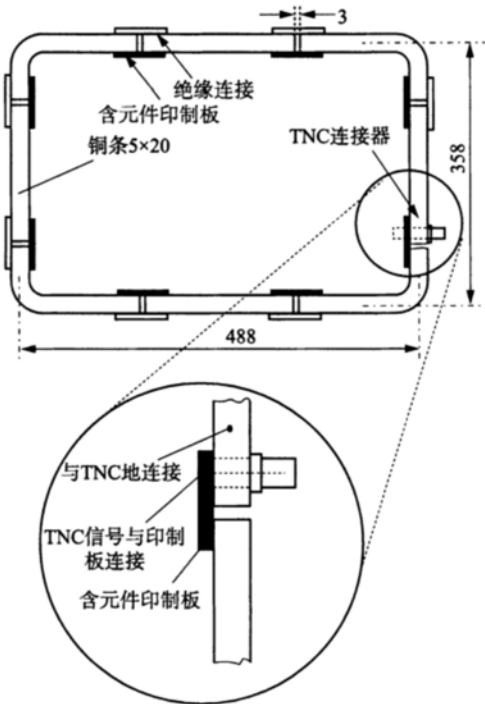


图 J.1 大尺寸参考环整体结构

标准尺寸参考环由 4 节实心铜条制成,见图 J.2。

C_1 、 L_2 和 C_2 安装在小印制电路板上,见图 J.3, L_1 是一节铜条的电感值,参考环整体电感值 L 应在调谐前测量。 L_1 是标准尺寸参考环电感 L 的四分之一,是大尺寸参考环电感 L 的八分之一。元件值的选择应使在低频时 C_2 的阻抗可忽略,在高频时 C_1 的阻抗可忽略,由此给出 4.23 MHz 谐振频率等式见

公式(J.1)、27.095 MHz 谐振频率等式见公式(J.2)。

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{(L_1 + L_2) \times C_1}} \dots\dots\dots (J.1)$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 \times L_2 \times C_2}} \dots\dots\dots (J.2)$$

参考环对每个频带提供的 1 dB 带宽约为 2 MHz,电感 L_2 应为空芯线圈,其感抗值与 L_1 相当, C_1 和 C_2 是陶瓷电容或瓷片电容(温度系数接近于零)。

单位为毫米

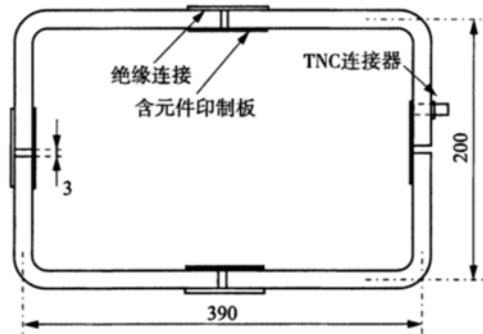


图 J.2 标准尺寸参考环整体结构

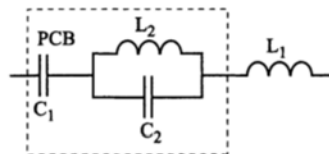


图 J.3 印制电路板元件

J.2.1.2 参考环机械结构

参考环包含如下环部件：

- a) 大尺寸参考环中带直角环部件(共四个)；
- b) 大尺寸参考环中无 TNC 连接器孔的直线环部件(共三个)；
- c) 大尺寸参考环中带 TNC 连接器孔的直线环部件(共一个)；
- d) 标准尺寸参考环中无 TNC 连接器孔的直角环部件(共三个)；
- e) 标准尺寸参考环中带 TNC 连接器孔的直角环部件(共一个)。

J.2.1.3 绝缘连接

在各环部件之间采用绝缘垫片进行绝缘连接,两种类型参考环使用相同的绝缘垫片,在大尺寸参考环使用七个,标准尺寸参考环使用三个。

使用 M5 螺钉将绝缘垫片安装在环部件上,每个绝缘垫片使用四个螺钉。

J.2.1.4 印制电路板

有两种印制电路板,一种用于带 TNC 连接器环部件的连接,另一种用于无 TNC 连接器环部件的连接。

使用螺钉将印制电路板安装到参考环部件上,每个螺钉头使用一个平垫圈,以保证可靠的电气连接,同时也保证印制电路板在组装时不被刮伤,螺钉和垫片为镀镍黄铜。

面向环部件的印制电路板表面应镀锡,并通过多个金属化过孔连接到元件面,连同螺钉结构一起构成低阻抗连接。

J. 2. 1. 5 印制电路板元件

J. 2. 1. 5. 1 元件要求

在图 J. 3 中虚框内元件按 J. 2. 3 要求予以确定,元件应为低损耗型,当温度变化和随时间老化时,元件状态应保持稳定。

元件要求如下:

- a) L_2 为空芯射频电感;
- b) C_1 为低温度系数型的三个陶瓷电容器的组合;
- c) C_2 为低温度系数型的三个陶瓷电容器的组合。

J. 2. 1. 5. 2 大尺寸参考环的经验指导

以下是大尺寸参考环的经验指导:

- a) 总电感 L 在 4.23 MHz 和 27.095 MHz 下约为 960 nH,环部件电感 L_1 约为 120 nH, L_2 选择电感量为 138 nH;
- b) 由 J. 2. 3 中的公式可计算出 C_1 理论值为 5.46 nF,将两个 2.2 nF 和一个 1.0 nF 电容器并联组合使用;
- c) 由 J. 2. 3 中的公式可计算出 C_2 理论值为 537 pF,将两个 220 pF 和一个 100 pF 电容器并联组合使用。

J. 2. 1. 5. 3 标准尺寸参考环的经验指导

以下是标准尺寸参考环的经验指导:

- a) 总电感 L 在 4.23 MHz 和 27.095 MHz 下约为 640 nH,环部件电感 L_1 约为 160 nH,元件 L_2 选择电感量为 138 nH;
- b) 由 J. 2. 3 中的公式可计算出 C_1 理论值为 4.73 nF,将两个 2.2 nF 和一个 330 nF 电容器并联组合使用;
- c) 由 J. 2. 3 中的公式可计算出 C_2 理论值为 505 pF,将两个 220 pF 和一个 68 pF 电容器并联使用。

宜遵循 J. 2. 3 中规定的调谐过程,以上提到的元件值仅具指导意义,印制电路板应预留额外的调谐电容器的空间(与以上提到的 C_1 和 C_2 电容组合并联)。

J. 2. 1. 6 封装

参考环采用绝缘壳进行防护,总壳体厚度为 27 mm,在 X 和 Y 方向,与外界环境的物理接触面应在参考区域以外 22 mm。

因此封装后的参考环外部尺寸如下:

- a) 大尺寸参考环:402 mm × 532 mm(宽度 × 长度);
- b) 标准尺寸参考环:244 mm × 434 mm(宽度 × 长度)。

参考环应标记出其几何中心位置,该标记与封装壳体中心相差 ± 10 mm。

J. 2. 2 参考环使用

使用一根双屏蔽层电缆连接参考环到测试设备或信号源,在电缆末端靠近参考环位置,用巴伦连接。电缆应均匀加装铁氧体磁环,间距小于 70 cm,在 J. 5 中描述了巴伦设计。

馈入参考环的信号源的阻抗应确定,连接到参考环的测量设备(经由巴伦)阻抗亦应确定,信号源和测量设备的标称阻抗均为 50 Ω 。

在不同频率下参考环设计的最大阻抗如下:

- a) 大尺寸参考环 4.23 MHz,最大为 2 Ω ;
- b) 大尺寸参考环 27.095 MHz,最大为 5 Ω ;
- c) 标准尺寸参考环 4.23 MHz,最大为 1 Ω ;
- d) 标准尺寸参考环 27.095 MHz,最大为 5 Ω 。

J. 2. 3 参考环调谐

在制作过程中需对参考环进行调谐,使参考环的电抗绝对值小于电阻值(在 4.23 MHz 和 27.095 MHz),步骤如下:

- a) 将连接各环部件的印制电路板上的元件进行短路(例如使用元件位置短路的特殊印制电路板);
- b) 确定环路的总电感值 L ;
- c) 计算各环部件的电感值 L_1 ;
大尺寸参考环: $L_1 = L/8$
标准尺寸参考环: $L_1 = L/4$
- d) 确定 L_2 , $L_2 \approx L_1$;
- e) 按公式(J. 3)确定 C_1 ;

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \times f_1^2 \times (L_1 + L_2)} \dots\dots\dots (\text{J. 3})$$

式中, $f_1 = 4.23 \text{ MHz}$ 。

- f) 按公式(J. 4)确定 C_2 :

$$C_2 = \frac{L_1 + L_2}{4\pi^2 \times f_2^2 \times L_1 \times L_2} \dots\dots\dots (\text{J. 4})$$

式中, $f_2 = 27.095 \text{ MHz}$ 。

- g) 将以上确定的元件装配至印制电路板,并与环部件固定,测量环路在 4.23 MHz 频率下的实际阻抗,如果电抗绝对值不小于电阻值,则调整 C_1 ;
- h) 将以上确定的元件装配至印制电路板,并与环部件固定,测量环路在 27.095 MHz 频率下的实际阻抗,如果电抗绝对值不小于电阻值,则调整 C_2 。

J. 2. 4 参考环校准

参考环会由于制造原因而存在偏差,校准过程需确定与各参考环有关的修正因子。

应按 E. 2. 6 要求对三个相同类型的参考环进行测量,并按公式(J. 5)至公式(J. 7)计算各参考环理论计算值与测量值的偏差,即计算修正因子。

$$\varepsilon_1 = \frac{a_{12} + a_{13} - a_{23} - a_0}{2} \dots\dots\dots (\text{J. 5})$$

式中:

- ε_1 ——参考环 1 的误差;
 a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的测量差;
 a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的测量差;
 a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的测量差;
 a_0 ——在两个参考环之间的理论差。

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{12} + a_{23} - a_{13} - a_0}{2} \dots\dots\dots (\text{J. 6})$$

式中:

- ε_2 ——参考环 2 的误差;
 a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的测量差;
 a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的测量差;
 a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的测量差;
 a_0 ——在两个参考环之间的理论差。

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{13} + a_{23} - a_{12} - a_0}{2} \dots\dots\dots (\text{J. 7})$$

式中:

- ε_3 ——参考环 3 的误差;
- a_{13} ——参考环 1 和参考环 3 之间的测量差;
- a_{23} ——参考环 2 和参考环 3 之间的测量差;
- a_{12} ——参考环 1 和参考环 2 之间的测量差;
- a_0 ——在两个参考环之间的理论差。

另一个可供选择的方法是仅在两个参考环之间进行测试,其中一个已经是已经校准的参考环,另一个是需要被校准的参考环。

下一步要计算几何中心与电气中心之间的偏差(在参考环上作标记),方法是使参考环的标准偏差和平均测量误差最小化,模拟基于场分布导数(单位 dB/cm)的 X 、 Y 、 Z 轴坐标,并模拟参考环电气尺寸变化(即 E. 2.3 中的 B 因子),将结果标记在参考环上。

测量参考环在自由空间条件下的阻抗,并进行标记。

J.3 测试天线

J.3.1 概述

在应答器一致性测试中,不允许射频能量失真,因此,除了标准测试天线(简称测试天线)外,还需要一种修改测试天线,修改测试天线只有 200 mm × 200 mm 的 4.23 MHz 环,没有 27.095 MHz 环,以使失真最小,其他与标准测试天线相同。

测试天线的电流探头输出端应始终维持 50 Ω 负载。

此处描述的工具最大输入功率可能会使电流探头输出最大为 7.4 dBm。

测试天线的参照点位于 27 MHz 环部件导体的中心(Z 轴),以及 27 MHz 环部件的中心($X-Y$ 平面),在仅有一个 4.2 MHz 环(修改测试天线)情况下,则以 4.2 MHz 环的中心为参照点。

J.3.2 测试天线设计

J.3.2.1 整体设计

机械结构示意图见图 J.4,图中未按比例绘制,且对箱盒有防水需求。

J.3.2.2 屏蔽板

屏蔽板用铝材制成,尺寸为 600 mm × 600 mm × 4 mm,用于降低环境影响。屏蔽板上固定三个 N 型母头到 N 型母头的转接器,位于他们各自连接的巴伦上部。

J.3.2.3 支柱

支柱用塑料(聚氯乙烯)制成,直径为 25 mm,由 2 节组成,装配在屏蔽板上刚性支撑天线环,使天线环距离屏蔽板 400 mm,且中心与屏蔽板中心对应。

J.3.2.4 天线环

J.3.2.4.1 简述

27.095 MHz 环的截面为 10 mm × 20 mm,弯角的内半径约为 10 mm;4.23 MHz 环的截面直径为 2 mm,弯角的内半径约为 5 mm。

天线环安装在固定板(聚氯乙烯材料)上,27.095 MHz 环用实心铜制作,4.23 MHz 环用实心黄铜制作。

J.3.2.4.2 电容

27.095 MHz 环路电容 C 安装在小印制电路板上,电路板通过螺钉与环路直接相连。每个电容 C 由多个表贴固定电容器和一个可变电容器(称为 C_1 和 C_2)组合而成,电容器应为高 Q 型,耐压不低于 500 V,通流量不小于 4 A。

元件要求如下:

- a) C_1 为四个低温度系数陶瓷电容的组合,使用 3 个 43 pF 电容和 1 个 39 pF 电容并联;
- b) C_2 为一个低温度系数可变陶瓷电容,容值为 0.8 pF ~ 8.0 pF 可变。

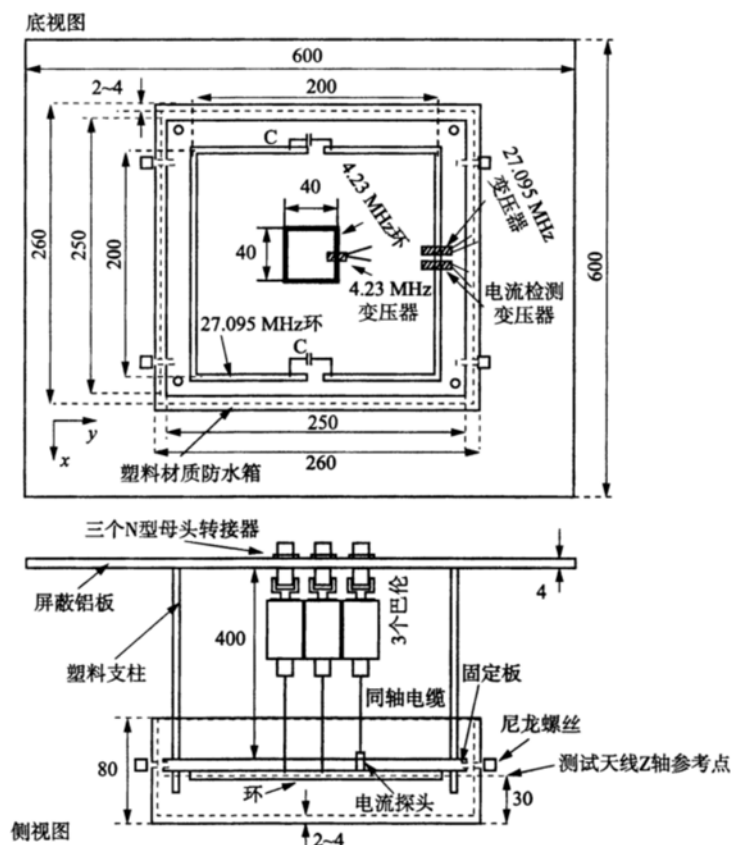


图 J. 4 测试天线机械示意

宜按照附录 J. 3. 4 进行调谐, 上述元件值只有指导意义, 印制电路板应预留额外的调谐电容器位置 (与上述 C_1 和 C_2 并联)。

J. 3. 2. 4. 3 印制电路板

电容器装配在印制电路板上。

使用螺钉将印制板安装在环部件上, 螺钉加装平垫圈以保证可靠的电气连接, 并使印制电路板在安装过程中避免刮擦。

与环部件接触的印制板表面应镀锡, 通过多个过孔 (印制板通孔) 连接到元件面。这些措施与螺钉装配共同保证与天线环的低阻抗连接。

J. 3. 2. 4. 4 27.095 MHz 变压器

变压器的初级绕组为 6 匝, 次级是环路自身 (1 匝)。

所有与变压器连接的非屏蔽线应扭绞 (最大总开环区域面积应小于 0.5 cm^2)。

磁环的内径约为 25 mm, $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的环结构 (截面尺寸)。

J. 3. 2. 4. 5 电流感应变压器和电流探头

变压器初级绕组为 8 匝, 次级为环路自身 (1 匝)。初级绕组的导线穿过电流探头后短接 (见图 J. 5)。

所有与变压器连接的非屏蔽线应扭绞 (最大总开环区域面积应小于 0.5 cm^2)。

磁环内径约为 25 mm, $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的环结构 (截面尺寸)。

电流探头为无源设备, 提供经校准输出电压, 约为 1 mV/mA 。

J. 3. 2. 4. 6 4.23 MHz 变压器

变压器的初级绕组为 7 匝 (修改测试天线为 5 匝), 次级为环路自身 (1 匝)。

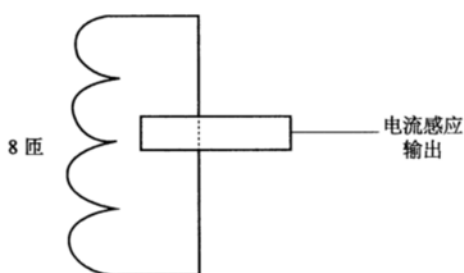


图 J.5 电流感应变压器

所有与变压器连接的非屏蔽线应扭绞(最大总开环区域面积应小于 0.5 cm^2)。

磁环的外径约为 15 mm 。磁环的 A_L 值应远高于环电感(估计约为 40 nH)。

J.3.2.4.7 巴伦

巴伦应力求靠近测试天线安装,使用的磁芯在 3 MHz 到 30 MHz 频率范围呈高阻抗,参见 J.5.2。

J.3.3 修改测试天线设计

修改测试天线不包含 27.095 MHz 环,这是测试天线与修改测试天线之间的主要差别,因此不需要 27.095 MHz 变压器、电流感应变压器、电流探头和相关的巴伦部件,为提高测量可重复性,固定板替换为适配 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 的 4.23 MHz 环的固定板。

4.23 MHz 变压器的初级绕组为 5 匝,次级为环路自身(1 匝)。

除此以外,修改测试天线与测试天线相同,由于没有 27.095 MHz 环,修改测试天线不需调谐。

J.3.4 测试天线调谐

对测试天线进行调谐是制造过程的内容之一。

给测试天线输入稳定的 27.095 MHz 信号,保持测试天线处于自由空间条件,通过最大化电流感应输出信号的方法进行调谐(使用安装在印制电路板上的可调电容)。

J.3.5 测试天线性能检查

完成测试天线调谐、检验符合机械公差后,在稳定的 27.095 MHz 信号条件下按照下列过程对测试天线进行测试,测试中标准尺寸参考环的实际阻抗应计算在内:

- 标准尺寸参考环置于相对测试天线 [$X=0, Y=0, Z=220$] 的位置,连接 50Ω 阻性负载。电流感应输出(负载 50Ω)到标准尺寸参考环输出的衰减量应为 $30 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$;
- 标准尺寸参考环置于相对测试天线 [$X=0, Y=0, Z=220$] 的位置,当标准尺寸参考环的负载在 20Ω 到 50Ω (阻性负载) 范围内变化时,从电流感应输出(负载 50Ω)到标准尺寸参考环输出的衰减差异不应超过 $\pm 0.5 \text{ dB}$;
- 标准尺寸参考环置于相对测试天线 [$X=0, Y=0, Z=460$] 的位置,连接 50Ω 阻性负载。从测试天线输入前向电流到标准尺寸参考环输出的衰减应为 $15 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$,此时测试天线的电流感应输出端应接 50Ω 阻性负载。

J.4 激励天线

J.4.1 概述

除激励天线之外,还需设计 4.2 MHz 天线,用于应答器一致性测试时用作接收探头,使上行链路信号测量中不受同时存在的射频能量信号骚扰,此 4.2 MHz 天线除用 4.23 MHz 环替换 27.095 MHz 环外,其他与激励天线相同。

激励天线的电流感应输出端应始终连接 50Ω 负载。

此处描述的工具最大输入功率可能会使电流探头输出最大为 7.4 dBm 。

激励天线的参照点位于 27 MHz 环部件导体的中心(Z 轴),以及 27 MHz 环部件的中心($X-Y$ 平面),在仅有一个 4.2 MHz 环的情况下,则以 4.2 MHz 环的中心为参照点。

J. 4. 2 激励天线设计

J. 4. 2. 1 整体设计

机械结构示意图见图 J. 6,图中未按比例绘制。

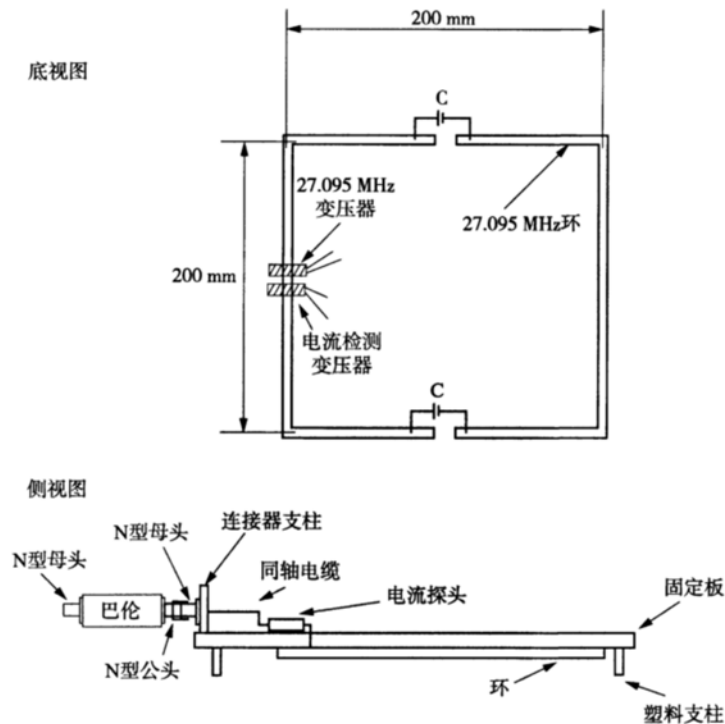


图 J. 6 激励天线机械示意

J. 4. 2. 2 塑料支柱

支柱由塑料材料(聚氯乙烯)制成,直径为 $\phi 25$ mm。

J. 4. 2. 3 天线环

J. 4. 2. 3. 1 简述

27. 095 MHz 环的截面为 10 mm \times 20 mm,弯角处内径约为 1 cm。

天线环安装在固定板(聚氯乙烯制成)上,27. 095 MHz 环制作材料为实心铜。

J. 4. 2. 3. 2 电容

27. 095 MHz 环路电容 C 安装在小印制电路板上,电路板通过螺钉与环路直接相连。每个电容 C 由多个表贴固定电容器和一个可变电容器(称为 C_1 和 C_2)组合而成,电容器应为高 Q 型,耐压不低于 500 V,通流量不小于 4 A。

元件要求如下:

- a) C_1 为四个低温度系数陶瓷电容的组合,使用 3 个 43 pF 电容和 1 个 39 pF 电容并联;
- b) C_2 为一个低温度系数可变陶瓷电容,容值为 0. 8 pF \sim 8. 0 pF 可变。

参照附录 J. 4. 4 进行调谐,上述元件值只有指导意义,印制电路板应预留额外的调谐电容器位置(与上述 C_1 和 C_2 并联)。

J. 4. 2. 3. 3 印制电路板(PCB)

电容器 C 装配在印制电路板上。

使用螺钉将印制板安装在环部件上,螺钉加装平垫圈以保证可靠的电气连接,并使印制电路板在安装过程中避免刮擦。

与环部件接触的印制板表面应镀锡,通过多个过孔(印制板通孔)连接到元件面。这些措施与螺钉

装配共同保证与天线环的低阻抗连接。

J. 4. 2. 3. 4 27. 095 MHz 变压器

变压器的初级绕组为 6 匝,次级是环路自身(1 匝)。

所有与变压器连接的非屏蔽线应扭绞(最大总开环区域面积应小于 0.5 cm^2)。

磁环的内径约为 25 mm,10 mm × 20 mm 的环结构(截面尺寸)。

J. 4. 2. 3. 5 电流感应变压器和电流探头

变压器初级绕组为 8 匝,次级为环路自身(1 匝)。初级绕组的导线穿过电流探头后短接,见图 J. 7。

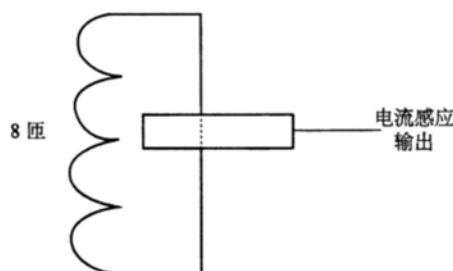


图 J. 7 电流感应变压器

所有与变压器连接的非屏蔽线应扭绞(最大总开环区域面积应小于 0.5 cm^2)。

磁环内径约为 25 mm,10 mm × 20 mm 的环结构(截面尺寸)。

电流探头为无源设备,提供经校准输出电压,约为 1 mV/mA。

J. 4. 2. 4 连接器支柱

连接器支柱由塑料(聚氯乙烯)制成。

J. 4. 2. 5 巴伦

巴伦应力求靠近激励天线安装,使用的磁芯在 3 MHz ~ 30 MHz 频率范围呈高阻抗。推荐使用 J. 5. 2 定义的通用巴伦。

J. 4. 3 4. 2 MHz 天线设计

4. 2 MHz 天线仅包含一个 4. 2 MHz 环而不含 27. 095 MHz 环,这是激励天线与 4. 2 MHz 天线的主要差别,因此不需安装 27. 095 MHz 变压器、电流感应变压器、电流探头和相关的巴伦,而由一个 4. 2 MHz 环和一个 4. 2 MHz 变压器取代(连接一个通用巴伦)。

4. 2 MHz 变压器相关部件与测试天线的对应部件设计相同。变压器初级绕组 7 匝。次级为环路自身(1 匝),磁环部分的外径约为 15 mm。

由于不含 27. 095 MHz 环,4. 2 MHz 天线不需调谐。

J. 4. 4 激励天线调谐

对激励天线进行调谐是制作过程的内容之一。

给激励天线输入稳定的 27. 095 MHz 信号,保持测试天线处于自由空间条件,通过最大化电流感应输出信号的方法进行调谐(使用安装在印制电路板上的可调电容)。

J. 4. 5 激活天线性能检查

完成测试天线调谐、检验符合机械公差后,在稳定的 27. 095 MHz 信号条件下按照下列过程对激励天线进行测试,测试中标准尺寸参考环的实际阻抗应计算在内。

- 标准尺寸参考环置于相对激励天线[$X=0, Y=0, Z=220$]的位置,连接 50 Ω 阻性负载。电流感应输出(负载 50 Ω)到标准尺寸参考环输出的衰减应为 $30 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$;
- 标准尺寸参考环置于相对激励天线[$X=0, Y=0, Z=220$]的位置,当标准尺寸参考环的负载在 20 Ω 到 50 Ω (阻性负载)范围内变化时,从电流感应输出(负载 50 Ω)到标准尺寸参考环输

出的衰减差异不超过 ± 0.5 dB;

- c) 标准尺寸参考环置于相对激励天线 $[X=0, Y=0, Z=460]$ 的位置,连接 $50\ \Omega$ 阻性负载,从激励天线输入前向电流到标准尺寸参考环输出的衰减应为 $15\text{ dB} \pm 2\text{ dB}$,此时激励天线的电流感应输出端应接 $50\ \Omega$ 阻性负载。

J.5 巴伦

J.5.1 概述

本附录定义参考设备巴伦的设计规格和实现方法,包括与测试天线、激励天线并各种仪器一同使用的通用巴伦、用于参考环的巴伦(装有 TNC 连接器,专用于连接参考环,称作参考环巴伦)。

本附录还包括一个具备电流感应能力的巴伦,称作电流感应巴伦,与参考环一同使用,以达成一个简单的测试方法(直接电流测试代替基于参考环阻抗的计算)。

J.5.2 通用巴伦设计

J.5.2.1 整体设计

通用巴伦由一个磁环和缠绕其上的同轴电缆组成。置于一个安装了 N 型接头的塑料盒内(一个 N 型公接头,一个 N 型母接头)。磁环在 $3\text{ MHz} \sim 30\text{ MHz}$ 频率范围内呈高阻抗。

通用巴伦整体结构设计见图 J.8。

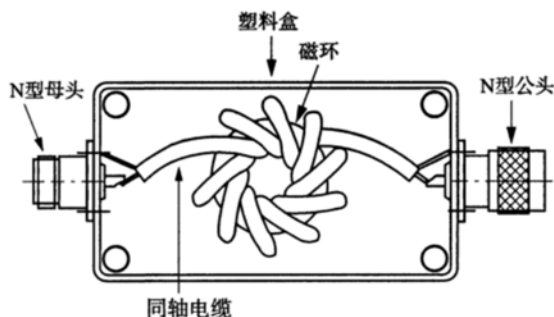


图 J.8 通用巴伦构成示意

J.5.2.2 磁环

磁环外形尺寸为:外径 $\phi 35.6\text{ mm}$ 、内径 $\phi 22.9\text{ mm}$ 、宽 12.7 mm 。

同轴电缆在磁环上缠绕 10 匝。

J.5.3 参考环巴伦设计

J.5.3.1 整体设计

参考环巴伦与通用巴伦的差别在于以下方面:

- TNC 公接头代替 N 型公接头;
- 塑料盒尺寸不同;
- 装配了适配参考环的支撑结构。

参考环巴伦整体结构设计见图 J.9。

J.5.3.2 磁环

磁环外形尺寸为:外径 $\phi 35.6\text{ mm}$ 、内径 $\phi 22.9\text{ mm}$ 、宽 12.7 mm 。

同轴电缆在磁环上缠绕 10 匝。

J.5.4 电流感应巴伦设计

J.5.4.1 整体设计

为具有电流感应能力,电流感应巴伦应额外装设一个电流探头,电流探头安装在与参考环巴伦所用相似的塑料盒内。

电流感应巴伦与参考环巴伦的差别在于以下方面:

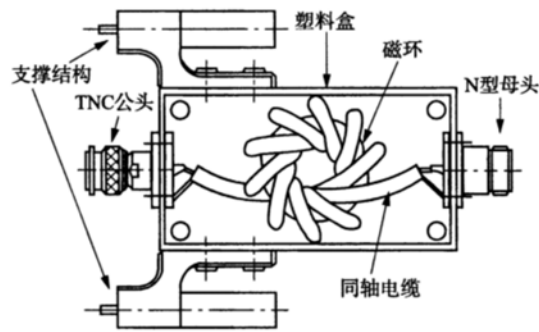


图 J.9 参考环巴伦构成示意

- a) 增加了一个 N 型母接头；
- b) 塑料盒尺寸不同；
- c) 装配有一个电流探头。

电流感应巴伦整体结构设计见图 J.10。用胶将电流探头及支撑件固定在盒中。

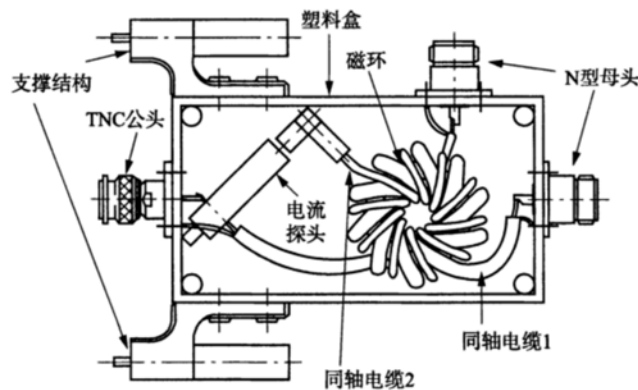


图 J.10 电流感应巴伦构成示意

J.5.4.2 磁环

磁环外形尺寸为：外径 $\phi 35.6$ mm、内径 $\phi 22.9$ mm、宽 12.7 mm。

同轴电缆 1 及同轴电缆 2 各在磁环上缠绕 10 匝，见图 J.10。

J.5.4.3 电流探头

电流探头为无源设备，提供经校准输出电压，约为 1 mV/mA。

J.5.5 电流感应巴伦校准

校准设备连接见图 J.11。

电流探头应经出厂校准的设备，提供 1 mV/mA 的输出特性，精度为 $\pm 4\%$ 。

此精度不能满足某些测量要求，因此，宜按图 J.11 校准电流探头的转移函数。



图 J.11 电流感应巴伦校准设备连接

校准时使用公式(J.8)、公式(J.9)。

$$I_0^2 = \frac{AP_{M2}}{|Z_A|} \dots\dots\dots (J.8)$$

式中:

I_0 ——校准时通过电流感应巴伦的电流;

A ——衰减器的衰减值;

P_{M2} ——功率计 2 的读数;

Z_A ——衰减器的输入阻抗。

$$k = \frac{P_{1C}}{AP_{M2}} \dots\dots\dots (J.9)$$

式中:

k ——被测电流感应巴伦的传输系数;

P_{1C} ——功率计 1 的读数;

A ——衰减器的衰减值;

P_{M2} ——功率计 2 的读数。

之后,按公式(J.10)对通过负载小于 100 Ω 的电流感应巴伦(负载连接在电流感应巴伦输出端)的任意电流(低于 2.5 A)有效。

$$I = \sqrt{\frac{P_{1C}}{k|Z_A|}} \dots\dots\dots (J.10)$$

式中:

I ——实际测量时通过电流感应巴伦的实际电流。

校准过程如下:

- a) 标定衰减器(确定 A 和 Z_A);
- b) 设置信号发生器为 4.23 MHz 且为连续波;
- c) 调节信号发生器输出幅度,使通过电流感应巴伦的电流约为 50 mA,经过 20 dB 衰减器对应功率计 2(P_{M2})的读数约为 +1 dBm;
- d) 记录功率计 1 和功率计 2 的精确读数(依照设计, P_{1C} 约为 -13 dBm);
- e) 使用公式(J.9)计算 k (在 4.23 MHz 和 27.095 MHz 有不同的 k 因子);
- f) 频率调为 27.095 MHz 时,重复上述校准步骤 a) 至 e)。

校准中使用的衰减器的衰减值约为 20 dB,在校准过程之前应准确测定,应保证精确的衰减值和输入阻抗(A 和 Z_A)。

为保持测量精度,应使用同一功率计 1 传感器。

中 华 人 民 共 和 国
铁 道 行 业 标 准
应 答 器 传 输 系 统 测 试 规 范

Test specification of balise transmission system
TB/T 3544—2018

*

中国铁道出版社有限公司出版、发行
(100054,北京市西城区右安门西街8号)
读者服务部电话:市电(010)51873174,路电(021)73174
北京建宏印刷有限公司印刷
版权专有 侵权必究

*

开本:880 mm × 1 230 mm 1/16 印张:10.5 字数:316 千字
2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷

*



定 价: 105.00 元