



中华人民共和国国家标准

GB/T 5441—2016
代替 GB/T 5441.1~5441.7—1985, GB/T 5441.9~5441.10—1985

通信电缆试验方法

Test methods for communication cable

杭州高电
专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2016-04-25 发布

2016-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	3
5 试验方法	3

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 5441.1—1985《通信电缆试验方法 第1部分：总则》、GB/T 5441.2—1985《通信电缆试验方法 第2部分：工作电容试验 电桥法》、GB/T 5441.3—1985《通信电缆试验方法 第3部分：电容耦合及对地电容不平衡试验》、GB/T 5441.4—1985《通信电缆试验方法 第4部分：同轴对端阻抗及内部阻抗不均匀性试验 脉冲法》、GB/T 5441.5—1985《通信电缆试验方法 第5部分：同轴对特性阻抗实部平均值试验 谐振法》、GB/T 5441.6—1985《通信电缆试验方法 第6部分：串音试验 比较法》、GB/T 5441.7—1985《通信电缆试验方法 第7部分：衰减常数试验 开短路法》、GB/T 5441.9—1985《通信电缆试验方法 第9部分：工频条件下理想屏蔽系数试验》、GB/T 5441.10—1985《通信电缆试验方法 第10部分：同轴对展开长度测量 正弦波法》。本标准以修订 GB/T 5441.1—1985 为主，整合了 GB/T 5441.2—1985~GB/T 5441.7—1985、GB/T 5441.9—1985、GB/T 5441.10—1985 的内容。与 GB/T 5441.1—1985 相比，主要技术变化如下：

- 修改了适用范围(见第1章，1985年版的第1章)；
- 增加了规范性引用文件(见第2章)；
- 增加了工作电容及电容不平衡的定义(见第3章)；
- 增加了串音测试中常见参数定义(见第3章)；
- 增加了“试验方法”(见第5章)。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC 213)归口。

本标准负责起草单位：上海电缆研究所。

本标准参加起草单位：江苏俊知技术有限公司、江苏亨通线缆科技有限公司、江苏通鼎光电股份有限公司、江苏中利科技集团股份有限公司、华讯工业(苏州)有限公司、深圳市联嘉祥科技股份有限公司、国家铁路产品质量监督检验中心、浙江正导光电股份有限公司、浙江兆龙线缆有限公司、中煤科工集团上海研究院。

本标准主要起草人：江斌、涂建坤、尹莹、辛秀东、刘杰、龚江疆、樊荣、薛清波、丁伟林、王晓益、姚文讯、朱旭俊、淮平、肖仁贵、张喜生、刘雅梁、黄冬莲、郑崑琳、罗英宝、倪冬华、高健。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 5441.1—1985、GB/T 5441.2—1985、GB/T 5441.3—1985、GB/T 5441.4—1985、GB/T 5441.5—1985、GB/T 5441.6—1985、GB/T 5441.7—1985、GB/T 5441.9—1985、GB/T 5441.10—1985。

通信电缆试验方法

1 范围

本标准规定了对称通信电缆和同轴对电缆的试验方法。

本标准适用于对称通信电缆和同轴对电缆电气参数的测量。其他通信电缆的试验,可参照使用。

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 2900.10 电工术语 电缆

GB/T 3048.4 电线电缆电性能试验方法 第4部分:导体直流电阻试验

3 术语和定义

GB/T 2900.10 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工作电容 the mutual capacitance

工作对两根传输线芯之间的总电容。

对称电缆工作电容可通过平衡电桥直接测量获取(见图1),其表达式见式(1):

$$C_m = C_{AB} + (C_{AG} \times C_{BG}) / (C_{AG} + C_{BG}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

C_m ——线对工作电容,单位为纳法(nF);

C_{AB} ——导体 a 与 b 间的电容,单位为纳法(nF);

C_{AG} ——导体 a 与屏蔽及地间的电容,单位为纳法(nF);

C_{BG} ——导体 b 与屏蔽及地间的电容,单位为纳法(nF)。

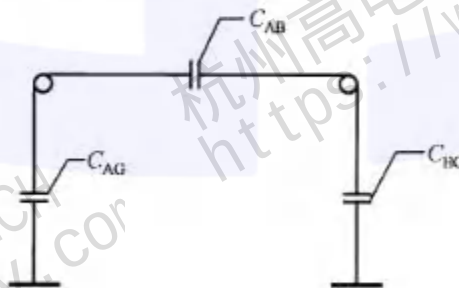


图1 对称电缆工作电容

对称电缆工作电容也可以通过式(2)获取:

$$C_m = \frac{(C_1 + C_2)}{2} - \frac{C_3}{4} - \frac{(C_1 - C_2)^2}{4C_3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C_m ——线对工作电容,单位为纳法(nF);

- C_1 ——导体 a 与 b 间的电容,导体 b 接所有其他导体及屏蔽(如果有屏蔽)与地,单位为纳法(nF);
 C_2 ——导体 b 与 a 间的电容,导体 a 接所有其他导体及屏蔽(如果有屏蔽)与地,单位为纳法(nF);
 C_3 ——导体 a、b 接在一起与所有其他导体接屏蔽(如果有屏蔽)及地之间的电容,单位为纳法(nF)。

3.2

对地电容不平衡 capacitance unbalance to earth

工作对两根传输线芯对地电容的算术差值。

线对对地电容不平衡见式(3):

$$C_e = C_1 - C_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- C_e ——线对对地电容不平衡,单位为皮法(pF);
 C_1 ——导体 a 与 b 间的电容,导体 b 接所有其他导体及屏蔽(如果有屏蔽)与地,单位为皮法(pF);
 C_2 ——导体 b 与 a 间的电容,导体 a 接所有其他导体及屏蔽(如果有屏蔽)与地,单位为皮法(pF)。

3.3

对屏电容不平衡(对外来地电容不平衡) capacitance unbalance to screen

工作对两根传输线芯对屏蔽电容的算术差值。

线对对屏电容不平衡见式(4):

$$C_{es} = C_{1s} - C_{2s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- C_{es} ——线对对屏电容不平衡,单位为皮法(pF);
 C_{1s} ——线对中导体 a 与屏蔽间的电容,其余导体应接平衡变量器的中性点,单位为皮法(pF);
 C_{2s} ——线对中导体 b 与屏蔽间的电容,其余导体应接平衡变量器的中性点,单位为皮法(pF)。

3.4

线对间电容不平衡 capacitance unbalance pair to pair

两组电缆工作对间电容的算术差值。

线对间电容不平衡见式(5):

$$k = (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- k ——线对间电容不平衡,单位为皮法(pF);
 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{23} 、 C_{24} ——电缆线芯 1、2、3、4 相互间的电容,其中线芯 1、2 为工作对 I,线芯 3、4 为工作对 II。

3.5

近端串音 near-end crosstalk**NEXT**

主串线对输入功率串到被串线对近端后的衰减值,见式(6):

$$NEXT = 10 \lg(P_{1N}/P_{2N}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $NEXT$ ——近端串音,单位为分贝(dB);
 P_{1N} ——主串线对的输入功率,单位为毫瓦(mW);
 P_{2N} ——被串线对近端的串音输出功率,单位为毫瓦(mW)。

3.6

远端串音 far-end crosstalk**I.O.FEXT**

主串线对输入功率串到被串线对远端后的衰减值,见式(7):

$$I.O.FEXT = 10\lg(P_{1N}/P_{2F}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$I.O.FEXT$ ——远端串音,单位为分贝(dB);

P_{1N} ——主串线对近端的输入功率,单位为毫瓦(mW);

P_{2F} ——被串线对远端的串音输出功率,单位为毫瓦(mW)。

3.7

等电平远端串音(远端串音防卫度) **equal level far-end crosstalk**

EL-FEXT

主串线对远端输出功率串到被串线对远端后的衰减值,见式(8):

$$EL - FEXT = 10\lg(P_{1F}/P_{2F}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

P_{1F} ——主串线对远端的输出功率,单位为毫瓦(mW);

P_{2F} ——被串线对远端的串音输出功率,单位为毫瓦(mW)。

等电平远端串音($EL-FEXT$)与远端串音($I.O.FEXT$)相差一个主串线对的衰减。

$$EL - FEXT = I.O.FEXT - \alpha' \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\alpha' = \alpha \times l \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

α ——主测线对的衰减常数,单位为分贝每单位长度(dB/单位长度);

$\alpha \times l$ ——主测线对的衰减值,单位为分贝(dB)。

4 一般规定

4.1 除另有规定外,试验应在环境温度下进行。

注:环境温度建议为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 除本标准中规定的试验方法外,其他电性能,如绝缘电阻、介质强度试验(电压试验)和机械物理性能试验,均应采用有关的电线电缆试验方法标准。必要时,可做出补充规定。

4.3 本标准中试验仪器和设备的附图,均为该项试验可能采用的一种仪器或设备的示意图。各种试验仪器和设备应按规定进行定期校验,以保持良好的使用状态。

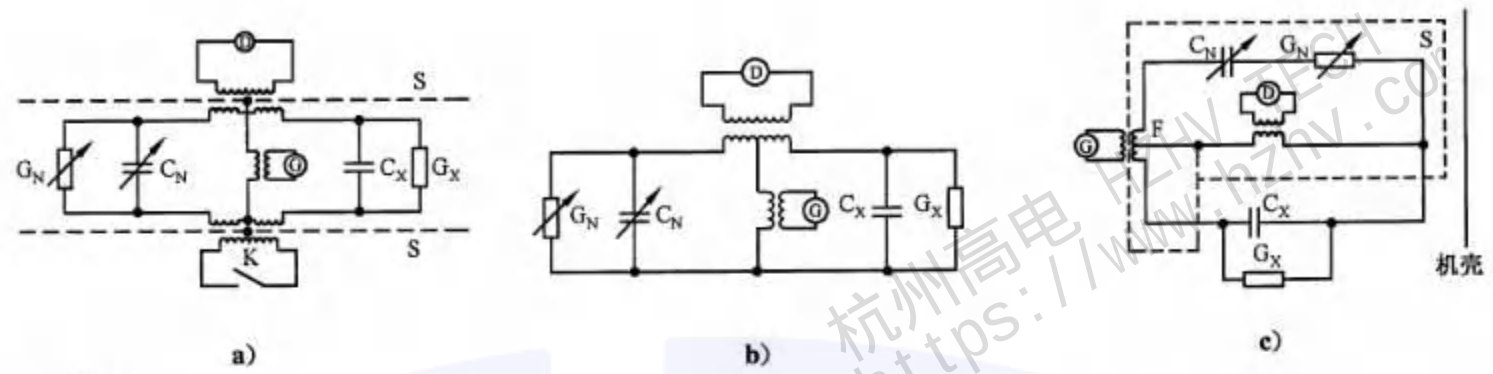
5 试验方法

5.1 工作电容

5.1.1 试验设备

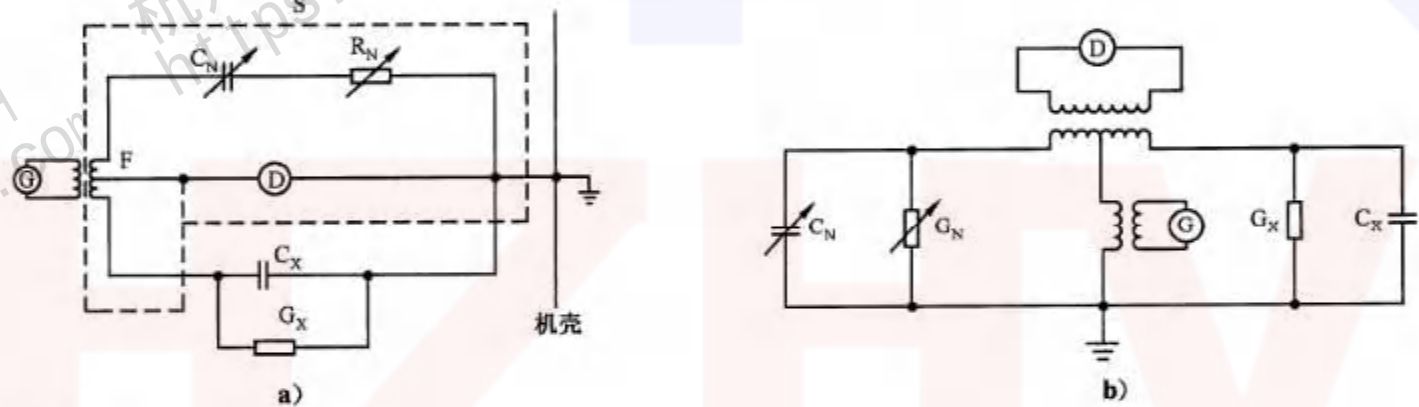
5.1.1.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图2~图4。



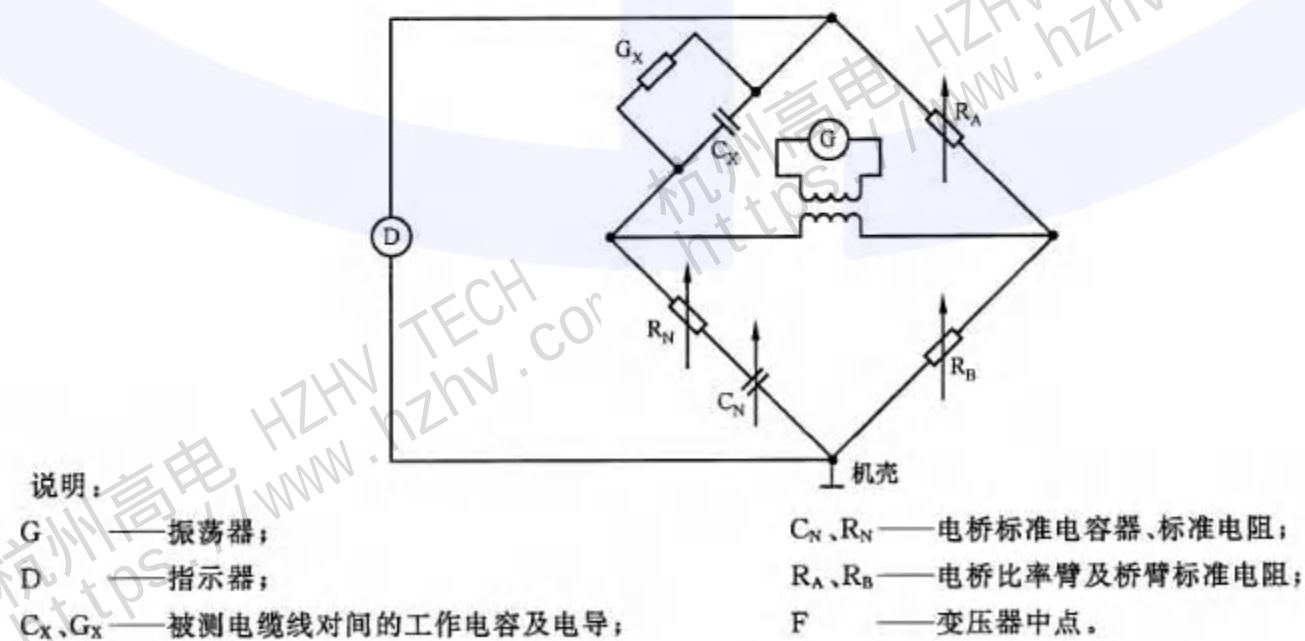
说明：
G —— 振荡器；
D —— 指示器；
S —— 电桥的屏蔽；
 C_X, G_X —— 被测电缆线对间的工作电容及电导；
 C_N, G_N —— 电桥标准电容器、标准电导；
K —— 开关；
F —— 变压器中点。

图2 对称电缆线对间工作电容测试系统原理图



说明：
G —— 振荡器；
D —— 指示器；
S —— 电桥的屏蔽；
 C_X, G_X —— 被测电缆线对间的工作电容及电导；
 C_N, R_N, G_N —— 电桥标准电容器、标准电阻及标准电导；
F —— 变压器中点。

图3 同轴对或单芯电缆工作电容测试系统原理图



说明：
G —— 振荡器；
D —— 指示器；
 C_X, G_X —— 被测电缆线对间的工作电容及电导；
 C_N, R_N —— 电桥标准电容器、标准电阻；
 R_A, R_B —— 电桥比率臂及桥臂标准电阻；
F —— 变压器中点。

图4 通信电缆线对间工作电容测试系统原理图

5.1.1.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 振荡器频率在 500 Hz~2 600 Hz 范围内单频输出,频率的误差应不大于 10%,非线性失真系数应不大于 5%;
- b) 指示器灵敏度应不低于允许测试误差的 1/3 的分辨力;
- c) 除另有规定外,电桥测试误差应不超过(1%被测值)pF±10 pF。

5.1.2 试样准备

试样应为制造长度的成品电缆。

5.1.3 试验步骤

5.1.3.1 根据不同测试对象选定测试系统原理图,并连接好测试系统。

对称电缆线对间工作电容,应按图 2 中的任意一种接线图测试,采用带有输入输出对称变压器的对称交流电桥。

同轴对或单芯电缆的工作电容应按图 3 中的任意一种接线图测试,采用一测试端钮接地的不对称电桥。

在符合 5.1.5.2 规定的前提下,允许采用图 4 接线图所示交流电桥测试通信电缆线对间的工作电容。

5.1.3.2 将被测线对直接或通过引线连接到电桥的测试端钮上,被测线对的另一端应开路,引线应按仪表和被测对象的需要选用。除被测线对外,其他线芯应连接在一起;若电缆有金属护套或屏蔽,其他线芯接电缆的金属护套或屏蔽。

注:在无外界干扰的情况下,允许其他线芯不接金属护套或屏蔽。

5.1.3.3 检查无误后,接通电源进行测试。测试时应确保指示器具有足够的灵敏度,然后读取测量结果。

5.1.4 试验结果及计算

试验结果应按式(11)换算为单位长度电缆的工作电容,引线的电容应从试验结果中扣除,或在电桥预平衡时平衡掉。

$$C = C_m \times \frac{1\,000}{l} \dots\dots\dots(11)$$

式中:

C ——单位长度电缆线对工作电容,单位为纳法每千米(nF/km);

C_m ——制造长度电缆工作电容测量值,单位为纳法(nF);

l ——被测电缆长度,单位为米(m)。

5.1.5 其他技术要求

5.1.5.1 当采用图 2 所示对称电桥测试线对工作电容时,电缆的金属护套可接地。

5.1.5.2 当采用图 4 所示交流电桥测试通信电缆工作电容时,不应以任何方式使其他线芯及金属护套与电桥的屏蔽机壳接通。当存在外界干扰要求电缆金属护套接地时,仪器的机壳不应接地。

5.1.5.3 当对测试结果有争议时,对称电缆应以图 2 所示电桥测试为准,同轴电缆应以图 3 所示电桥测试为准。所采用电桥的精度应确保测试误差不超过(0.5%被测值)pF±10 pF。

5.2 电容耦合及电容不平衡试验

5.2.1 符号

测试项目符号见表1。

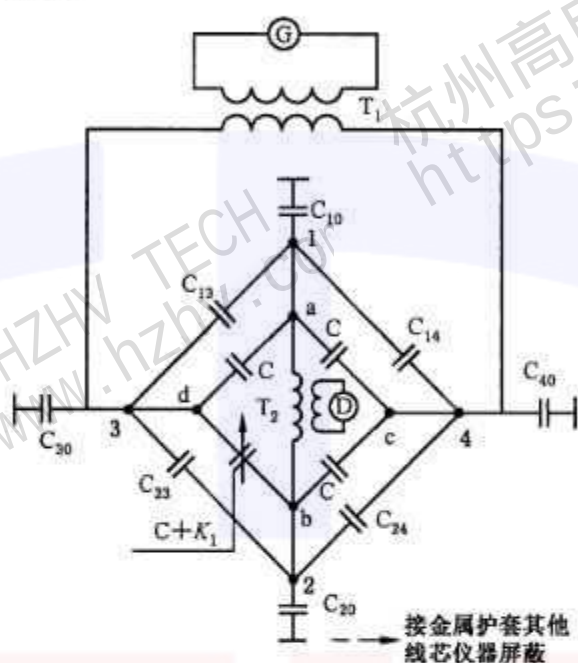
表1 电容耦合及对地电容不平衡试验测试项目符号

符号		定义	近似公式
组内	K_1	实路 I / 实路 II	$(C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23})$
	K_2	实路 I / 幻路	$(C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24}) + \frac{C_{10} - C_{20}}{2} + \frac{C_{1G} - C_{2G}}{2}$
	K_3	实路 II / 幻路	$(C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24}) + \frac{C_{30} - C_{40}}{2} + \frac{C_{3G} - C_{4G}}{2}$
组间	K_4	幻路 I / 幻路 II	$C_{15} + C_{16} + C_{25} + C_{26} + C_{45} + C_{46} + C_{35} + C_{36} - C_{18} - C_{17} - C_{28} - C_{27} - C_{45} - C_{46} - C_{35} - C_{36}$
	K_5	实路 I / 幻路 II	$C_{15} + C_{16} + C_{28} + C_{27} - C_{18} - C_{17} - C_{25} - C_{26}$
	K_6	实路 II / 幻路 II	$C_{45} + C_{46} + C_{38} + C_{37} - C_{48} - C_{47} - C_{35} - C_{36}$
	K_7	实路 III / 幻路 I	$C_{15} + C_{25} + C_{45} + C_{35} - C_{45} - C_{35} - C_{16} - C_{26}$
	K_8	实路 IV / 幻路 I	$C_{18} + C_{28} + C_{47} + C_{37} - C_{17} - C_{27} - C_{48} - C_{38}$
	K_9	实路 I / 实路 III	$C_{15} + C_{26} - C_{16} - C_{25}$
	K_{10}	实路 I / 实路 IV	$C_{18} + C_{27} - C_{17} - C_{28}$
	K_{11}	实路 II / 实路 III	$C_{45} + C_{36} - C_{46} - C_{35}$
	K_{12}	实路 II / 实路 IV	$C_{48} + C_{37} - C_{47} - C_{38}$
对地电容不平衡	e_1	实路 I / 其他芯线及金属护套和地	$C_{10} - C_{20} + C_{1G} - C_{2G}$
	e_2	实路 II / 其他芯线及金属护套和地	$C_{30} - C_{40} + C_{3G} - C_{4G}$
	e_3	幻路 I / 其他芯线及金属护套和地	$C_{10} + C_{20} + C_{1G} + C_{2G} - C_{30} - C_{40} - C_{3G} - C_{4G}$
对外来地电容不平衡	e_{s1}	实路 I / 金属护套和地	$C_{10} - C_{20}$
	e_{s2}	实路 II / 金属护套和地	$C_{30} - C_{40}$
	e_{s3}	幻路 I / 金属护套和地	$C_{10} + C_{20} - C_{30} - C_{40}$
注1: 实路 I 为被测四线组的一个工作对,其线芯编号为 1、2;实路 II 为被测四线组的一个工作对,其线芯编号为 3、4;实路 III 为另一被测四线组的一个工作对,其线芯编号为 5、6;实路 IV 为另一被测四线组的一个工作对,其线芯编号为 7、8。 注2: C_{13}、C_{14}、C_{23}、C_{24} 为电缆线芯 1、2、3、4 相互间的部分电容;C_{1G}、C_{2G}、C_{3G}、C_{4G} 为电缆线芯 1、2、3、4 对全部非被测线芯间的部分电容;C_{10}、C_{20}、C_{30}、C_{40} 为电缆线芯 1、2、3、4 对地间的部分电容。			

5.2.2 试验设备

5.2.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 5~图 8。

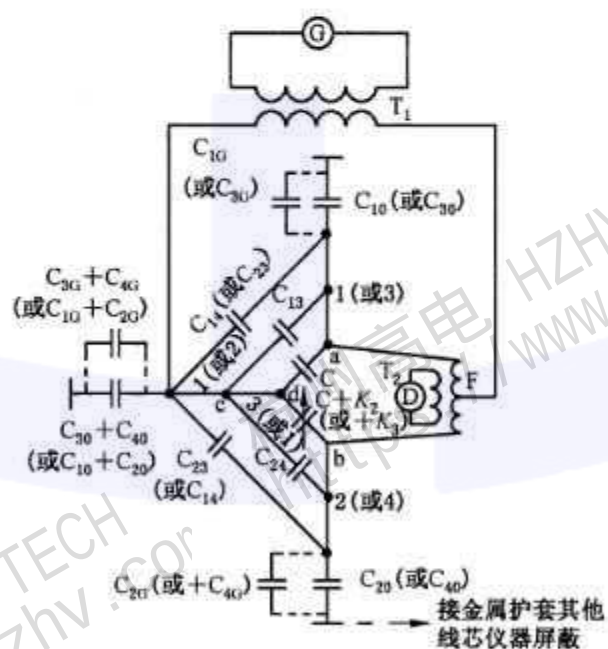


说明:

1、2、3、4——组内两对线芯；
a、b、c、d——电桥的四个顶点；
C ——桥臂电容；
F ——变量器中心；

G —— 振荡器;
D —— 指示器;
 T_1 、 T_2 —— 变量器。

图5 K_1 测试系统原理图

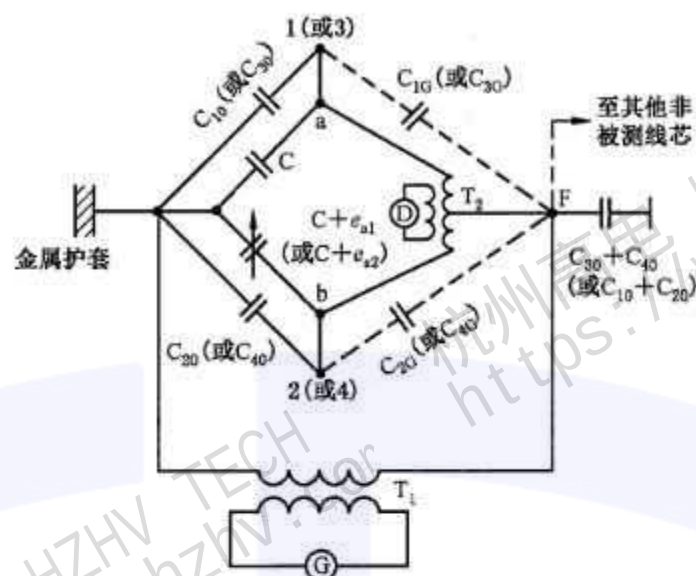


说明:

1、2、3、4——组内两对线芯；
a、b、c、d——电桥的四个顶点；
C——桥臂电容；
F——变量器中心；

G —— 振荡器;
D —— 指示器;
 T_1, T_2 —— 变量器。

图 6 K_2 或 K_3 测试系统原理图



说明:

1、2、3、4——组内两对线芯；

a、b ——电桥的两个顶点；

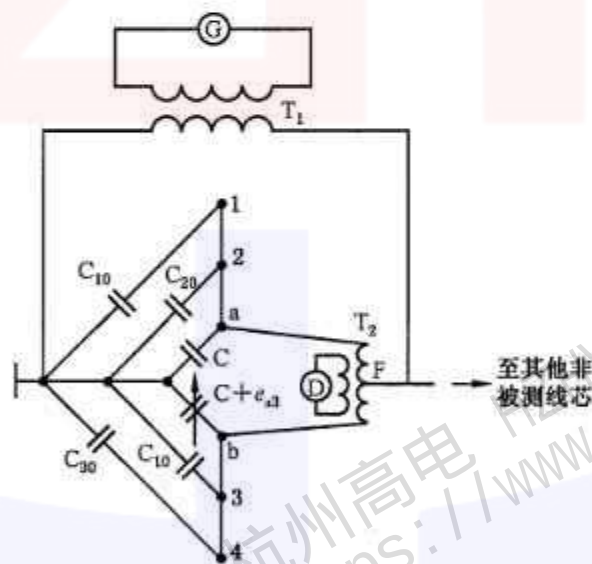
C ——桥臂电容；

F ——变量器中心；

G — 振荡器；

D ——指示器；

T_1, T_2 ——变量器。

图 7 线对对外来地电容不平衡 e_{a1} 、 e_{a2} 测试系统原理图

说明:

1、2、3、4——组内两对线芯；

a、b ——电桥的两个顶点；

C ——桥臂电容；

F ——变量器中心；

G — 振荡器；

D ——指示器；

T_1, T_2 —— 变量器。

图 8 线对对外来地电容不平衡 e_{a3} 测试系统原理图

5.2.2.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- 振荡器：频率在 500 Hz~2 000 Hz 范围内单频输出，频率误差应不大于 10%，非线性失真系数应不大于 5%；
- 指示器的灵敏度应确保不低于(测试误差的 1/5+1)pF 分辨力；
- 电桥：测试误差应不大于(3%被测值)pF±2.5 pF。应定期用标准电容器在电桥上利用 K_1 线路分别接至图 5 中 ad、bc 及 db 三个桥臂上进行校验。

5.2.3 试样准备

试样为制造长度的成品电缆。

5.2.4 试验步骤

5.2.4.1 根据不同测试对象选定测试系统原理图，并连接好测试系统。 K_1 按图 5 系统原理图测试； K_2 、 K_3 按图 6 系统原理图测试； $K_4 \sim K_{12}$ 按图 5 系统原理图测试，但此时四个实路的线芯与桥体的实际接法应符合表 2 规定； e_{a1} 、 e_{a2} 、 e_1 、 e_2 按图 7 系统原理图测试；但测量 e_1 和 e_2 时，应符合 5.2.4.2 中列项 b) 的规定； e_{a3} 、 e_3 按图 8 系统原理图测试。

表 2 线芯与桥体接线法

项目	端钮 a	端钮 b	端钮 c	端钮 d
K_1	1,2	3,4	5,6	7,8
K_5	1	2	5,6	7,8
K_6	3	4	5,6	7,8
K_7	1,2	3,4	5	6
K_8	1,2	3,4	7	8
K_9	1	2	5	6
K_{10}	1	2	7	8
K_{11}	3	4	5	6
K_{12}	3	4	7	8

注：1、2、3、4、5、6、7、8 为线芯序号。

5.2.4.2 测试 K 、 e 值时，非被测线芯的连接应符合下列要求：

- 测试 K 值及 e_3 值时，电缆内除被测线对外的其余非被测线芯接金属护套或电缆屏蔽；
- 测试 e_1 、 e_2 时，同一四线组组内的另外两根线芯应由仪表自动转接至 F 点，电缆内其余非被测线芯接金属护套或电缆屏蔽；
- 测试 e_{a1} 、 e_{a2} 、 e_{a3} 时，电缆内全部非被测线芯接仪器的 F 点。

5.2.4.3 将电缆的被测线芯直接或通过引线接到电桥的测试端钮上，被测线芯的另一端应开路。测试引线应采用屏蔽软线，引线的接头端应保证有良好的电接触。引线的 K 值、 e 值和 e_s 值应分别在测试结果中扣除，或在电桥预平衡时平衡掉。

5.2.4.4 检查无误后，转动测试仪的转动开关至所需测的 K 值、 e 值和 e_s 值进行测试。

5.2.4.5 测量时应确保指示器具有足够的灵敏度，然后读取测量结果。

5.2.5 试验结果及计算

测量结果按式(12)至式(17)换算为标准长度时的值：

$$K_{(1\sim 12)} = K_{(1\sim 12)X} \cdot \frac{L_0}{L_X} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\overline{K}_{(1\sim 12)} = \overline{K}_{(1\sim 12)X} \cdot \sqrt{\frac{L_0}{L_X}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$e_{(1\sim 3)} = e_{(1\sim 3)X} \cdot \frac{L_0}{L_X} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\overline{e}_{(1\sim 3)} = \overline{e}_{(1\sim 3)X} \cdot \frac{L_0}{L_X} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$e_{a(1\sim 3)} = e_{a(1\sim 3)X} \cdot \frac{L_0}{L_X} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\overline{e}_{a(1\sim 3)} = \overline{e}_{a(1\sim 3)X} \cdot \frac{L_0}{L_X} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

L_0 ——产品标准中规定指标时确定的标准制造长度,单位为米(m);

L_X ——被测电缆的长度,单位为米(m);

$K_{(1\sim 12)}$ ——标准制造长度电缆线对间 $K_{(1\sim 12)}$ 值;

$K_{(1\sim 12)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对间 $K_{(1\sim 12)}$ 测量值;

$\overline{K}_{(1\sim 12)}$ ——标准制造长度电缆线对间 $K_{(1\sim 12)}$ 的算术平均值;

$\overline{K}_{(1\sim 12)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对间 $K_{(1\sim 12)}$ 测量值的算术平均值;

$e_{(1\sim 3)}$ ——标准制造长度电缆线对对地间 $e_{(1\sim 3)}$ 值;

$e_{(1\sim 3)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对对地间 $e_{(1\sim 3)}$ 的测量值;

$\overline{e}_{(1\sim 3)}$ ——标准制造长度电缆线对对地间 $e_{(1\sim 3)}$ 的算术平均值;

$\overline{e}_{(1\sim 3)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对对地间 $e_{(1\sim 3)}$ 测量值的算术平均值;

$e_{a(1\sim 3)}$ ——标准制造长度上电缆线对对外来地的 $e_{a(1\sim 3)}$ 值;

$e_{a(1\sim 3)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对对外来地的 $e_{a(1\sim 3)}$ 的测量值;

$\overline{e}_{a(1\sim 3)}$ ——标准制造长度上电缆线对对外来地的 $e_{a(1\sim 3)}$ 的算术平均值;

$\overline{e}_{a(1\sim 3)X}$ ——被测电缆长度上电缆线对对外来地的 $e_{a(1\sim 3)}$ 测量值的算术平均值。

5.2.6 其他技术要求

5.2.6.1 测试时应注意电容耦合值的“正”“负”号。

5.2.6.2 当被测电缆测试结果超出仪器测试量程时,可采用外加标准电容方法测试,测试结果应为电桥上的读数及外加标准电容数值之代数和。

5.2.6.3 在一般情况下,5.2.4.2a)和 b)规定的其余非被测线芯,允许减少为被测线芯周围的非被测线芯接金属护套或电缆屏蔽。当有争议时,应按 5.2.4.2a)和 b)的规定进行。

5.3 同轴对端阻抗及内部阻抗不均匀性试验 脉冲法

5.3.1 符号

同轴对端阻抗及内部阻抗不均匀性试验符号见表 3。

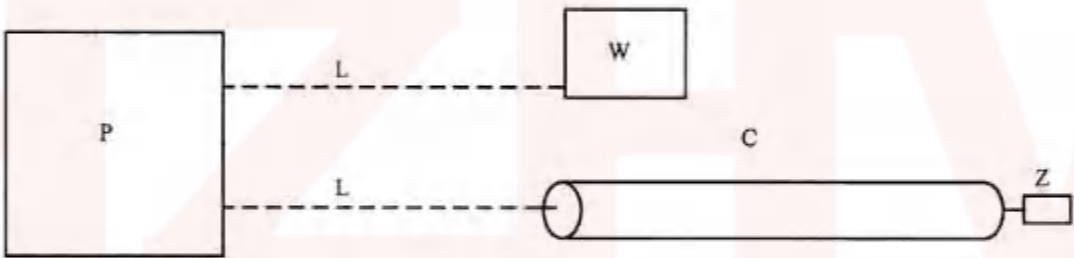
表 3 同轴对端阻抗及内部阻抗不均匀性试验 脉冲法符号及定义

符号	定义
Z_A	同轴对 A 端端阻抗值
P_A	当脉冲从同轴对 A 端送入时,同轴对内部不均匀性以反射系数表示的值
A_{rA}	当脉冲从同轴对 A 端送入时,同轴对内部不均匀性以反射衰减表示的值
Z_B	同轴对 B 端端阻抗值
P_B	当脉冲从同轴对 B 端送入时,同轴对内部不均匀性以反射系数表示的值
A_{rB}	当脉冲从同轴对 B 端送入时,同轴对内部不均匀性以反射衰减表示的值
A 端和 B 端应按电缆产品标准规定区别。	

5.3.2 试验设备

5.3.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 9。



说明：
P——电缆脉冲测试仪；
W——平衡网络(脉冲仪附件)；
C——被测同轴对；
Z——终端匹配阻抗；
L——测试引线(允许不用引线)。

图 9 测试系统原理图

5.3.2.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 测试系统精度：端阻抗的测量误差,对于 2.6 mm/9.5 mm 型应不超过 $\pm 0.05 \Omega$ ；对于 1.2 mm/4.4 mm 型应不超过 $\pm 0.1 \Omega$ ；对于 0.7 mm/2.9 mm 型应不超过 $\pm 0.2 \Omega$ 。同轴对内部阻抗不均匀性测量误差应不超过被测值的 $-10\% \sim +10.01\%$ ；
- b) 接收系统：由接收放大器和输入衰减器等组成,其频率特性在 $0.1 \tau \text{ MHz} \sim 0.5 \tau \text{ MHz}$ 频率范围内的波动应不超过 $\pm 3 \text{ dB}$ ；
- c) 发送脉冲：输出的发送脉冲幅度应不低于 20 V,波形应为正弦平方波,发送脉冲半幅宽度(τ)的误差应不超过按 5.3.4.2 选定值的 $\pm 15\%$ ；
- d) 差动电桥：在满足 b)项要求的同时,对于采用引线测试或采用标准同轴对校正网络刻度的测

试仪器,其两端输出的对称度应不小于 52 dB;对于不用引线,且以标准电阻校正网络刻度的仪器,其两端输出的对称度应不小于 78 dB;

- e) 平衡网络:阻抗频率特性应模拟被测同轴对的阻抗频率特性。测量 2.6 mm/9.5 mm 型同轴对时,网络刻度为 2.5 MHz 时的阻抗实部值;测量 1.2 mm/4.4 mm 型和 0.7 mm/2.9 mm 型同轴对时,网络刻度为 1 MHz 时的阻抗实部值。网络的刻度在测试前应以标准同轴对进行校验,校正后刻度误差应不超过 $\pm 0.03 \Omega$ 。对于 Z_{∞} 与 R_0 链路可以分开的网络,也可以采用温度系数在 $1 \times 10^{-5} \Omega/^{\circ}\text{C}$ 以下的标准电阻对 Z_{∞} 刻度值进行校核;
- f) 测试引线:采用 10 ns 宽度的脉冲测试时,两根引线的长度均应不小于 10 m;采用 50 ns 宽度的脉冲测试时,两根引线的长度均应不小于 30 m;采用宽度大于 50 ns 的脉冲测试时,两根引线的长度均应不小于 50 m。两根引线的长度差应不大于 20 mm,阻抗为 $75 \Omega \pm 2 \Omega$,电容不大于 76 pF/m,其内部阻抗不均匀性应不大于 10%。接平衡网络的引线端阻抗和接被测同轴对的引线端阻抗应尽可能接近,其差值应不大于 0.5 Ω ;
- g) 标准同轴对:制造标准同轴对的同轴对结构应与试样相同。端阻抗的定标温度为 $+20^{\circ}\text{C}$,1 MHz 时 0.7 mm/2.9 mm 型标准同轴对的定标值应在 $74.0 \Omega \sim 76.0 \Omega$ 范围内,其误差应不超过 $\pm 0.1 \Omega$ 。1 MHz 时 1.2 mm/4.4 mm 型标准同轴对的定标值应在 $74.5 \Omega \sim 75.5 \Omega$ 范围内,其误差应不超过 $\pm 0.05 \Omega$ 。2.5 MHz 时 2.6 mm/9.5 mm 型标准同轴对的定标值应在 $74.8 \Omega \sim 75.2 \Omega$ 范围内,其误差应不超过 $\pm 0.02 \Omega$;
- h) 标准电阻:电阻的定标温度为 $+20^{\circ}\text{C}$,直流时的定标值,对于 0.7 mm/2.9 mm 型同轴对,应在 $72.0 \Omega \sim 73.0 \Omega$ 范围内;对于 1.2 mm/4.4 mm 型同轴对,应在 $73.0 \Omega \sim 74.0 \Omega$ 范围内;对于 2.6 mm/9.5 mm 型同轴对,应在 $74.0 \Omega \sim 75.0 \Omega$ 范围内。电阻值的误差应不超过 $\pm 0.02 \Omega$;
- i) 时标显示电路:测试距离时的误差应不大于 1%;
- j) P-L 曲线板:即不均匀性 P 沿长度 L 变化的校正曲线板。该曲线应符合选定的测试脉冲在试样内传输时幅度随长度变化的特性。

5.3.3 试样准备

试样为制造长度的成品电缆。

5.3.4 试验步骤

5.3.4.1 将脉冲测试仪接通电源,预热,然后按仪器说明书规定调整各旋钮到正确的位置。

5.3.4.2 除被测电缆的技术文件中另有规定外,应根据同轴对所传输系统的最高频率,按表 4 选定测试脉冲的半幅宽度 τ ,并将仪器的发送脉冲半幅宽度调整至选定的 τ 值。

表 4 不同数据传输系统测试的脉冲半幅宽度

试样规格 mm	模拟传输系统 MHz	数字传播系统 Mbit/s	测试脉冲半幅宽 τ ns
2.6/9.5	≤ 24	≤ 34	≤ 50
2.6/9.5	≤ 70	≤ 140	≤ 10
1.2/4.4	≤ 24	≤ 34	≤ 50
1.2/4.4	—	≤ 140	≤ 10
1.7/2.9	—	≤ 34	≤ 100

5.3.4.3 按仪器说明书规定对发送脉冲幅度进行“定标”。

5.3.4.4 按仪器说明书规定用标准同轴对或标准电阻校正平衡网络的阻抗刻度值。

5.3.4.5 按图 9 接上被测同轴对。

5.3.4.6 按仪器说明书规定调节平衡网络上的高频补偿电容及“ Ω ”调节旋钮,以达到标准的“M”形或“W”形。

5.3.4.7 从平衡网络上读取端阻抗 Z_A 或 Z_B 值,从 P-L 曲线上读取同轴对内部不均匀性 P_A 或 P_B 值,或采用调节输入衰减器的衰减值使不均匀点的反射脉冲的幅值正好等于定标时的参考高度的方法,读取放射衰减值 A_{rA} 或 A_{rB} 值。

5.3.5 试验结果及计算

5.3.5.1 概述

试验结果的获得有两种方法,一种是用已经绘制好的 P-L 校正曲线板在仪表上直接读取的直接读取法;另一种是从衰减器上读取衰减值,然后进行计算校正的计算法。

5.3.5.2 直接读取法

从仪表的平衡网络上读取 Z_A 或 Z_B 值;从 P-L 校正曲线板上读取不均匀性最大值 P_A 或 P_B 。

P-L 校正曲线板的绘制可以在不同长度的电缆上直测绘制,也可以按表 5 对于不同类型同轴对给出的校正值进行绘制。

表 5 同轴对校正值

距离 l_x km	2.6 mm/9.5 mm	1.2 mm/4.4 mm	0.7 mm/2.9 mm
	$\tau=50$ ns 时 脉冲幅度	$\tau=50$ ns 时 脉冲幅度	$\tau=100$ ns 时 脉冲幅度
0	1	1	1
0.05	0.941	0.872	0.848
0.10	0.886	0.762	0.720
0.15	0.835	0.677	0.614
0.20	0.787	0.585	0.524
0.25	0.741	0.514	0.449
0.30	0.699	0.452	0.386
0.35	0.659	0.399	0.332
0.40	0.622	0.352	0.287
0.45	0.587	0.312	0.248
0.50	0.554	0.276	0.216
0.55	0.524	0.245	0.188
0.60	0.495	0.218	0.164

注:表中数值,对于 2.6 mm/9.5 mm 型同轴对是以 $\alpha_{1\text{ MHz}}=2.337$ dB/km 计算所得;对于 1.2 mm/4.4 mm 型同轴对是以取 $\alpha_{1\text{ MHz}}=5.3$ dB/km 计算所得;对于 0.7 mm/2.9 mm 型同轴对是以取 $\alpha_{1\text{ MHz}}=9.068$ dB/km 计算所得。

5.3.5.3 计算法

反射衰减 A_r 值按式(18)计算。

$$A_r = -A_1 + A_2 - A_3 \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

A_r ——反射衰减,单位为分贝(dB);

A_1 ——脉冲“定标”时的输入衰减器读数,单位为分贝(dB);

A_2 ——调节不均匀点的反射脉冲达到“定标”值时输入衰减器的衰减,单位为分贝(dB);

A_3 ——脉冲在被测同轴对中传输时的传输衰减,单位为分贝(dB)。

A_3 按式(19)计算。

$$A_3 = 2 \times \alpha_1 \times \sqrt{f} \times l_x \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

α_1 ——1 MHz 时试样的衰减常数,可用标称值,单位为分贝每千米(dB/km);

f ——脉冲等效频率,单位为兆赫兹(MHz);

l_x ——试样不均匀点距始端的距离,单位为千米(km)。

对于 0.6 km 以下的制造长度同轴对, f 可按式(20)计算。

$$f = \phi(\alpha_1, l_x) \times f_\tau \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$f_\tau = \frac{1}{4\tau} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\phi(\alpha_1, l_x) = A \times \alpha_1 \times l_x + B \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

τ ——发送脉冲的半幅宽度,单位为纳秒(ns);

A 、 B ——函数 $\phi(\alpha_1, l_x)$ 的系数,对于不同类型同轴对的 A 、 B 值见表 6。

表 6 同轴对 A、B 值

同轴对型号	2.6 mm/9.5 mm		1.2 mm/4.4 mm		0.7 mm/2.9 mm
脉冲半幅宽	50 ns	10 ns	50 ns	10 ns	100 ns
A	-0.048 7	-0.108 2	-0.048 4	A_s^a	-0.034 2
B	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
^a 在 0.5 km 以内, $A_s = -0.113 4 l_x^2 + 0.061 7 l_x - 0.115 5$ 。					

l_x 按式(23)计算。

$$l_x = \frac{v}{2} \times t \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

v ——脉冲在被测同轴对中的传输速度,单位为千米每微秒(km/ μ s);

t ——用时标显示装置测定的不均匀点反射脉冲滞后于发送脉冲的时间,单位为微秒(μ s)。

5.3.5.4 A_r 值与 P 值的换算

A_r (A_{rA} 或 A_{rB}) 值与 P (P_A 或 P_B) 值之间的换算按式(24)进行。

$$P = 10^{-A_r/20} \times 10^3 \% \quad \dots\dots\dots (24)$$

5.3.5.5 不均匀点阻抗偏差值的计算

需要不均匀点的阻抗偏差值时,按式(25)计算。

$$\Delta Z = 2Z \times P \dots\dots\dots (25)$$

式中:

- ΔZ ——不均匀点的阻抗偏差,单位为欧姆(Ω);
- $2Z$ ——试样特性阻抗标称值,单位为欧姆(Ω);
- P ——不均匀点的反射系数,单位为千分比(‰)。

5.3.6 其他技术要求

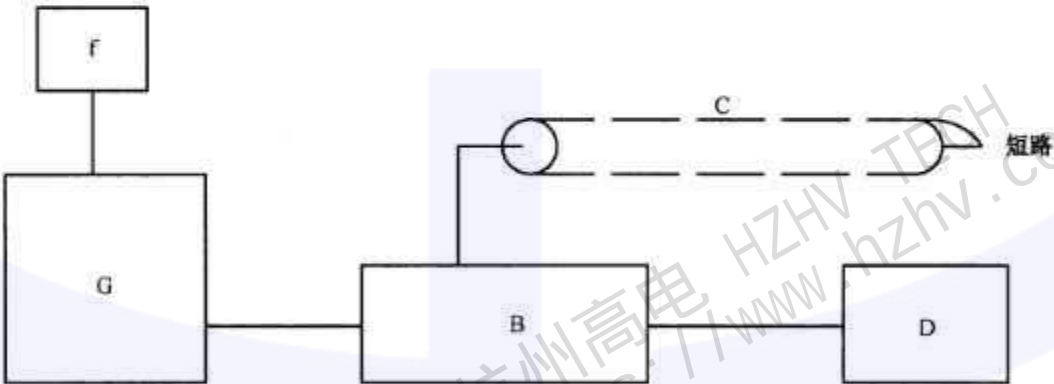
- 5.3.6.1 在用标准同轴对校正网络刻度的场合,当周围温度发生变化时,应用标准同轴对重新校核网络的刻度。
- 5.3.6.2 在用测试引线测试时(见图 9),当引线中有一根引线的端头损坏时,应在两根引线的对应端上各剪去相等的长度。
- 5.3.6.3 当需要采用 $\tau=10\text{ ns}$ 脉冲进行测试时,应选用备有可以自动校正脉冲幅度和相位的同轴电缆脉冲测试仪进行测试。

5.4 同轴对特性阻抗实部平均值试验 谐振法

5.4.1 试验设备

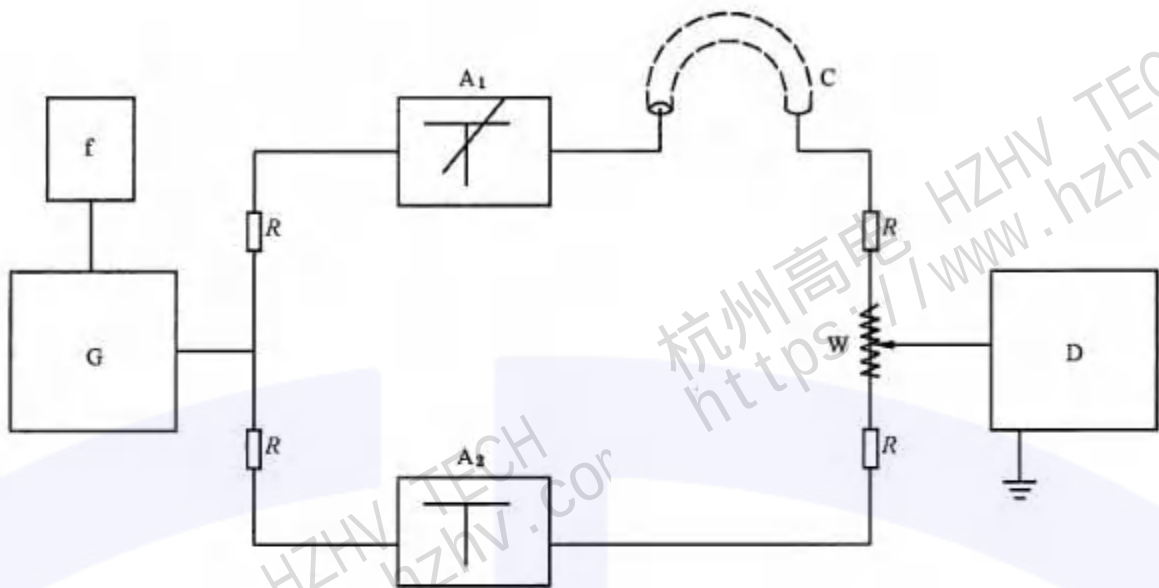
5.4.1.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 10 和图 11。



- 说明:
- G ——电平振荡器;
 - B ——高频阻抗(导纳)电桥;
 - D ——选频电平表;
 - f ——数字频率计;
 - C ——被测同轴对。

图 10 电桥谐振法测试系统原理图



说明：
G —— 电平振荡器；
D —— 选频电平表；
f —— 数字频率计；
C —— 被测同轴对；
A₁、A₂ —— 两只型号规格相同的可变衰减器，A₂ 作固定衰减器用；
R —— 74 Ω±2 Ω；
W —— 100 Ω 的无感电位器。

图 11 补偿法测试系统原理图

5.4.1.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 电平振荡器：在规定测试频率范围内频率飘移应不大于 10⁻⁴（连续工作 1 h），输出电平应为 0 dB~10 dB；
- b) 选频电平表：在规定测试频率范围内灵敏度应不低于 -90 dB（不包括表头）；
- c) 高频阻抗（导纳）电桥：精度应为被测值的 ±1%；
- d) 数字频率计：显示数字的位数应不少于 6 位，频率稳定度应不超过 ±1.5×10⁻⁷/24 h；
- e) 衰减器：各档衰减值总和应不低于 40 dB，最小档的分辨力应至少为 0.1 dB。衰减器适用的频率范围应包括所需测试的各个频率点。

5.4.2 试样准备

试样为制造长度的成品电缆。

5.4.3 试验步骤

5.4.3.1 按 5.1 规定，测定被测同轴对的工作电容 C，应采用精度不低于 0.1% 的电容电桥进行测试。

5.4.3.2 按式(26)估算被测电缆的谐振频率及其间隔。

$$f'_n = \frac{n}{4 \times Z_c \times C} \dots\dots\dots (26)$$

式中：
f'_n —— 谐振频率，单位为兆赫兹(MHz)；

n ——谐振序号 $n=1, 2, 3, \dots, n$;

Z_c ——被测同轴对特性阻抗标称值,单位为欧姆(Ω);

C ——被测电缆长度上的工作电容,单位为微法(μF)。

5.4.3.3 按图 10 测试时应按下列步骤进行:

- 按图 10 所示连接仪器,在不接入试样的情况下,接通电源预热,直至仪器稳定;
- 将电桥的电阻(电导)和电感(电容)各测量档置于“零”位,将振荡器的输出频率调整至当 $n=2, 4, 6, \dots, n$ 时以式(22)估算出的 f'_n 值上,电平表选频后,用电桥的零平衡装置进行零平衡调整;
- 将被测同轴对的一端短路,另一端接入电桥的测试端,反复调节振荡器的频率和电桥的电阻(电导)并逐渐增大电平表的灵敏度,使电平表的指示最小;
- 从数字频率计上读取谐振频率的测量值 f_m ,并记下 n 值;
- 改变 n 值,重复 b)、c) 步骤,测量和读取电缆终端短路时各个谐振频率的测量值 f_m 及 n 值。

5.4.3.4 按图 11 测试时应按下列步骤进行:

- 按图 11 所示接好测试系统,并使 A_1 支路和 A_2 支路连接引线的总长度相等,检查无误后接通电源,预热仪器达到稳定;
- 估计被测试样在最高测试频率下的衰减值,将固定衰减器 A_2 置于大于该值的任意位置上;
- 接好被测试样,调节振荡器的输出频率,同时用选频电平表跟踪选频,在序号 n 为 2、6、10、14……以式(22)估算出的频率的附近频率点上,选择频率高于 250 kHz 的所需测试的频率序号进行测量,反复调节可变衰减器 A_1 及振荡器的输出频率,使电平表的指示最低,然后调节细调电位器使电平表的灵敏度达 -100 dB 左右,从频率计上读取频率 f_m ,并记录序号 n 值。

5.4.4 试验结果及计算

试验结果按式(27)计算求得。

$$\bar{Z}_e = \frac{n}{4 \times C \times f_n} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

$\bar{Z}_e$ ——试样特性阻抗实部平均值,单位为欧姆(Ω);

n ——谐振序号, $n=2, 4, 6, \dots, n$;

C ——被测同轴对的工作电容,单位为微法(μF);

f_n ——试样的实际谐振频率,单位为兆赫兹(MHz)。

按图 10 测试系统测试时, f_n 应按式(28)计算。

$$f_n = f_m \left[1 - \left(\frac{\alpha \times \lambda}{17.372 \times \pi} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中:

f_n ——试样的实际谐振频率,单位为兆赫兹(MHz);

f_m ——试样的谐振频率测试值,单位为兆赫兹(MHz);

α ——试样对应于被测频率的衰减(通常可以取各厂同轴对在 1 MHz 时的标称值 α_1 ,以 $\alpha = \alpha_1 \times \sqrt{f_m}$ 换算取得),单位为分贝每千米(dB/km);

λ ——试样上测试频率的波长,单位为千米(km)。

按图 11 测试系统测试时, $f_n = f_m$ 。

5.4.5 其他技术要求

5.4.5.1 如果测得的 f_m 与式(22)估算的 f'_n 值偏离较大,应使振荡输出在 f_m 的频率下,重复 5.4.3.3b) 和

c)步骤进行复测。

5.4.5.2 试样短路一端的内外导体应保持清洁,以确保短路接触良好。

5.4.5.3 高频测试时,谐振序号容易取错,应逐点进行计数,取得谐振序号的真值。

5.5 串音试验

5.5.1 比较法

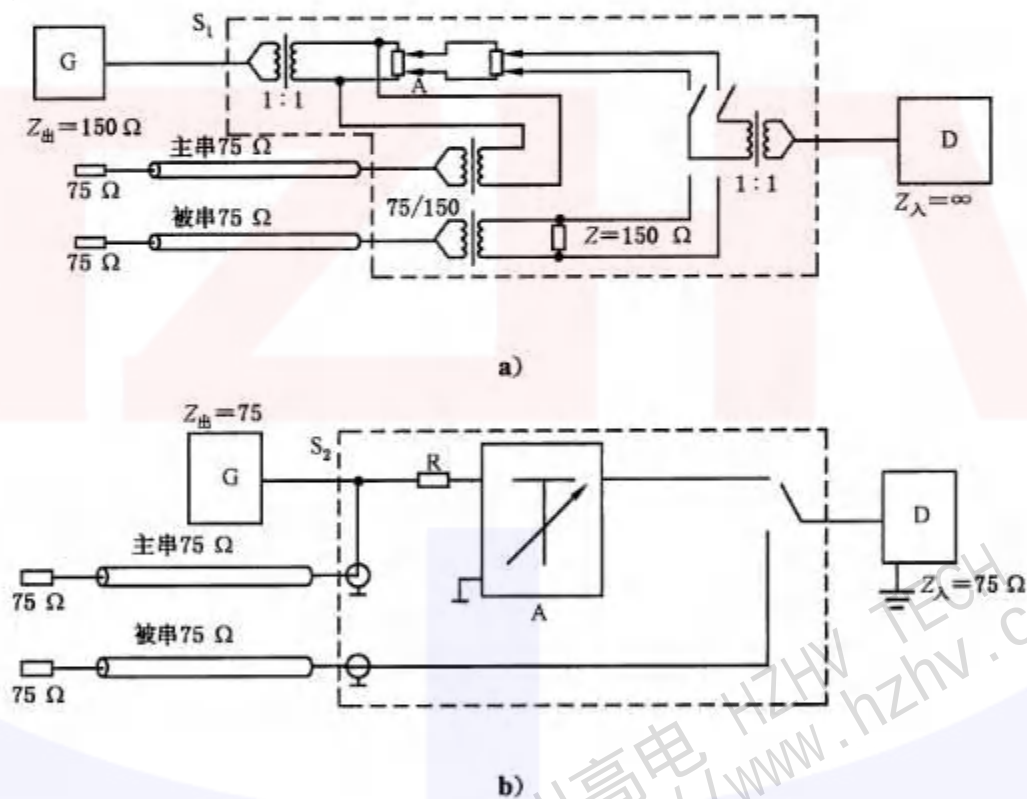
5.5.1.1 概述

本方法测试频率为 0.8 kHz~1 MHz。若仪表性能允许,也适用于更高的频率范围。

5.5.1.2 试验设备

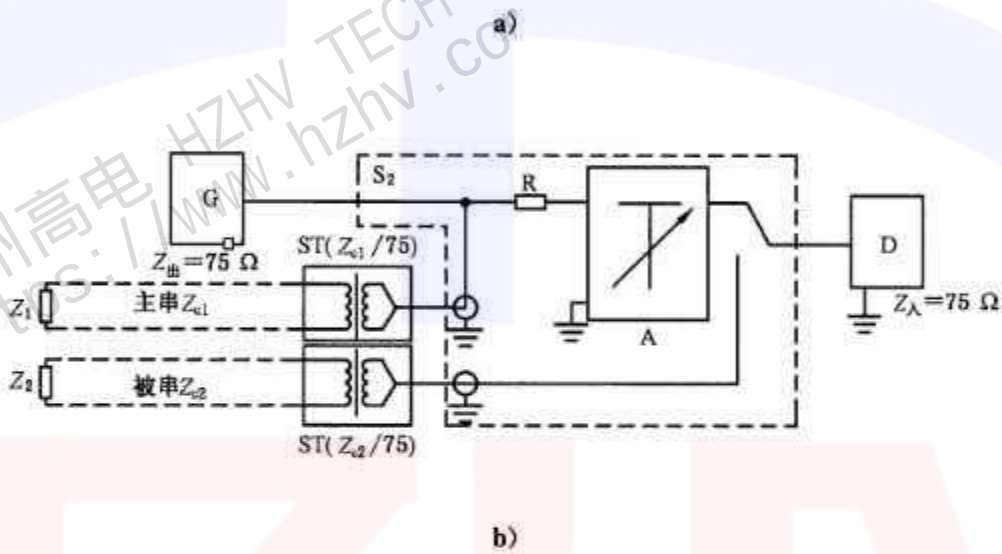
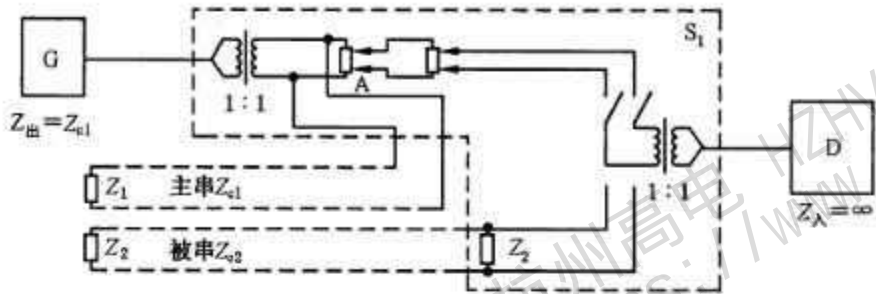
5.5.1.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图分为对称和不对称两种,图 12~图 19 中 a)图为对称串音测试仪的测试系统原理图,b)图为不对称串音测试仪的测试系统原理图。



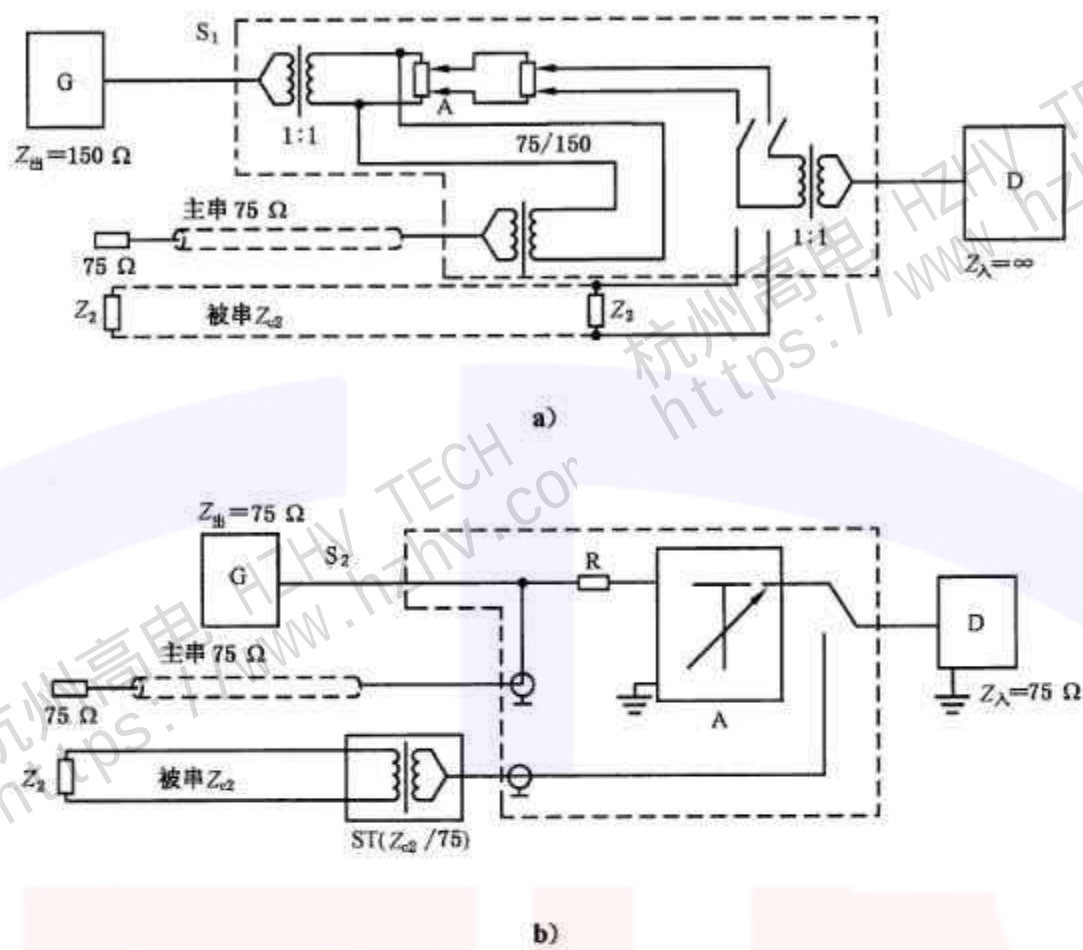
- 说明:
- G —— 振荡器;
 - S₁ —— 带有对称转不对称变量器(150 Ω/75 Ω)的对称串音测试器;
 - S₂ —— 同轴串音测试器;
 - A —— 可变衰减器;
 - R —— 串音测试器 S₂ 中可变衰减器前的固定高电阻;
 - D —— 选频电平表。

图 12 同轴对之间的近端串音(简称同串同)测试系统原理图



- 说明：
- G — 振荡器；
 - Z_{c1} — 主串线路的特性阻抗；
 - Z_{c2} — 被串线路的特性阻抗；
 - D — 选频电平表；
 - S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω/75 Ω)的对称串音测试器；
 - S_2 — 同轴串音测试器；
 - A — 可变衰减器；
 - R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻；
 - $Z_1 = Z_{c1}, Z_2 = Z_{c2}$ — 负载电阻；
 - ST — $Z_c/75\ \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_c 为被接线对的特性阻抗)。

图 13 四线组线对间(或线对之间)的近端串音测试系统原理图



说明：

G — 振荡器；

Z_{c1} — 主串线路的特性阻抗；

Z_{c2} — 被串线路的特性阻抗；

D — 选频电平表；

S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω/75 Ω)的对称串音测试器；

S_2 — 同轴串音测试器；

A — 可变衰减器；

R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻；

$Z_1 = Z_{c1}, Z_2 = Z_{c2}$ — 负载电阻；

ST — $Z_{c2}/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_{c2} 为被接线对的特性阻抗)。

图 14 同轴对串四线组线对的近端串音(简称同串四)测试系统原理图

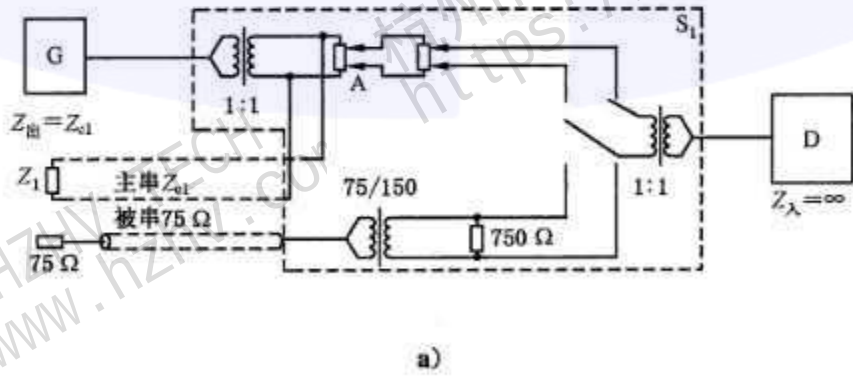
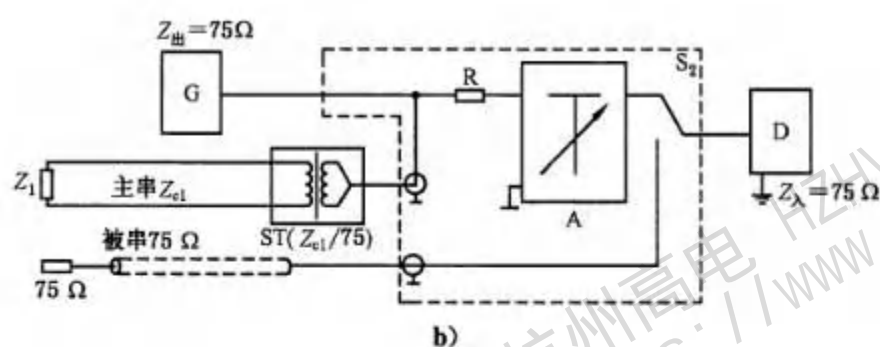


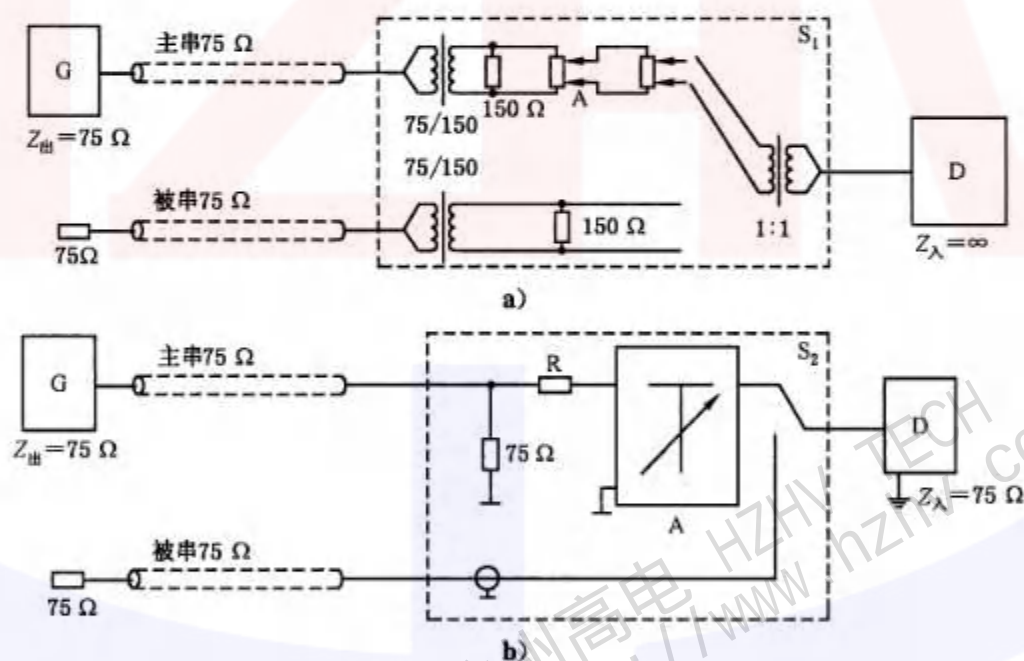
图 15 四线组线对(或线对)串同轴对(简称四串同)的近端串音测试系统原理图



说明:

- G — 振荡器;
 Z_{e1} — 主串线路的特性阻抗;
 Z_{e2} — 被串线路的特性阻抗;
 D — 选频电平表;
 S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω /75 Ω)的对称串音测试器;
 S_2 — 同轴串音测试器;
 A — 可变衰减器;
 R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻;
 $Z_1 = Z_{e1}, Z_2 = Z_{e2}$ — 负载电阻;
 ST — $Z_e/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_e 为被接线对的特性阻抗)。

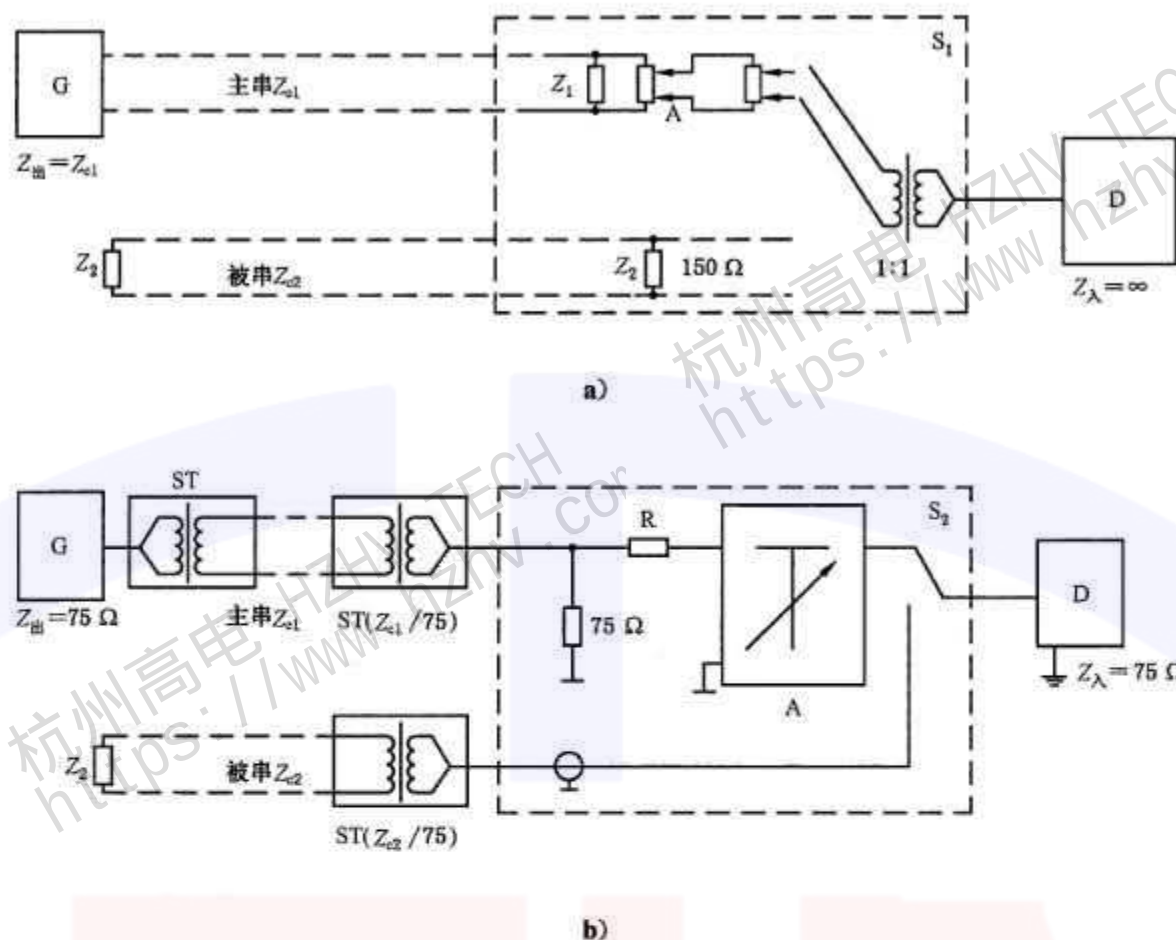
图 15 (续)



说明:

- G — 振荡器;
 Z_{e1} — 主串线路的特性阻抗;
 Z_{e2} — 被串线路的特性阻抗;
 D — 选频电平表;
 S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω /75 Ω)的对称串音测试器;
 S_2 — 同轴串音测试器;
 A — 可变衰减器;
 R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻;
 $Z_1 = Z_{e1}, Z_2 = Z_{e2}$ — 负载电阻;
 ST — $Z_e/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_e 为被接线对的特性阻抗)。

图 16 同轴对之间的远端串音测试系统原理图



说明：

G — 振荡器；

Z_{c1} — 主串线路的特性阻抗；

Z_{c2} — 被串线路的特性阻抗；

D — 选频电表；

S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω /75 Ω)的对称串音测试器；

S_2 — 同轴串音测试器；

A — 可变衰减器；

R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻；

$Z_1 = Z_{c1}, Z_2 = Z_{c2}$ — 负载电阻；

ST — $Z_c/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_c 为被接线对的特性阻抗)。

图 17 四线组线对之间(或线对之间)的远端串音测试系统原理图

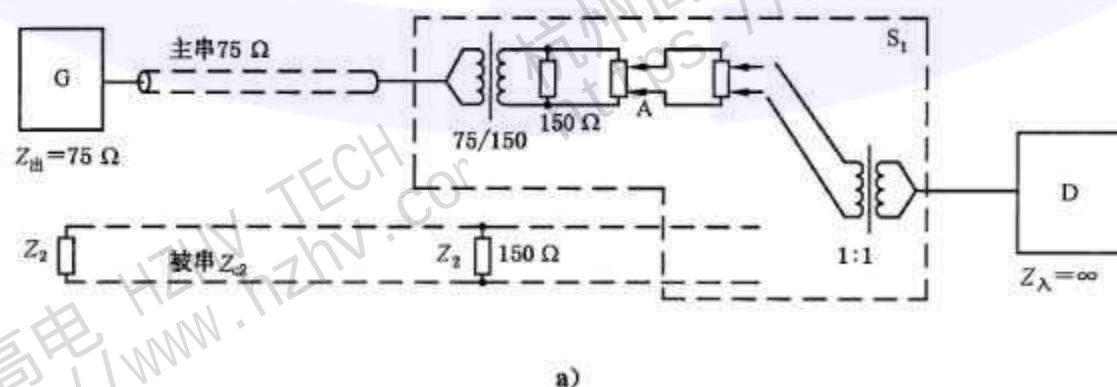
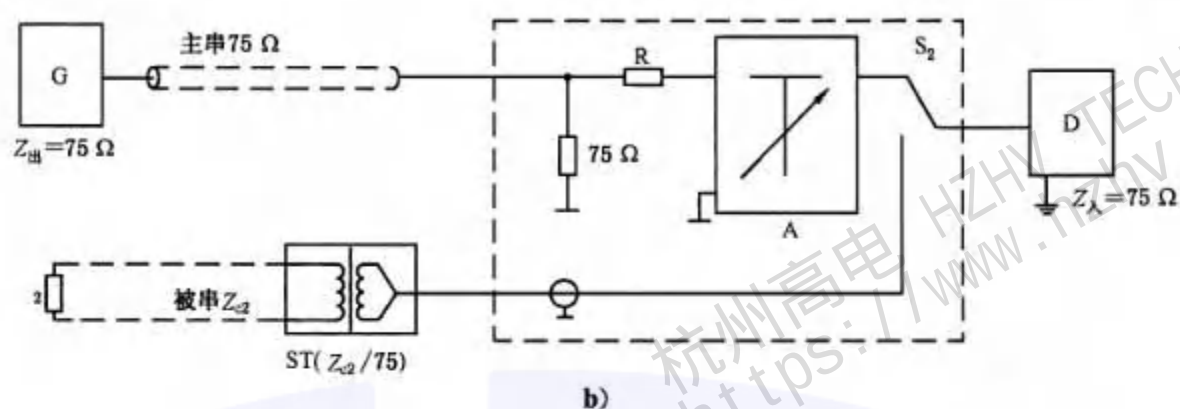


图 18 同轴对串四线组线对的远端串音测试系统原理图



说明:

G — 振荡器;

 Z_{c1} — 主串线路的特性阻抗; Z_{c2} — 被串线路的特性阻抗;

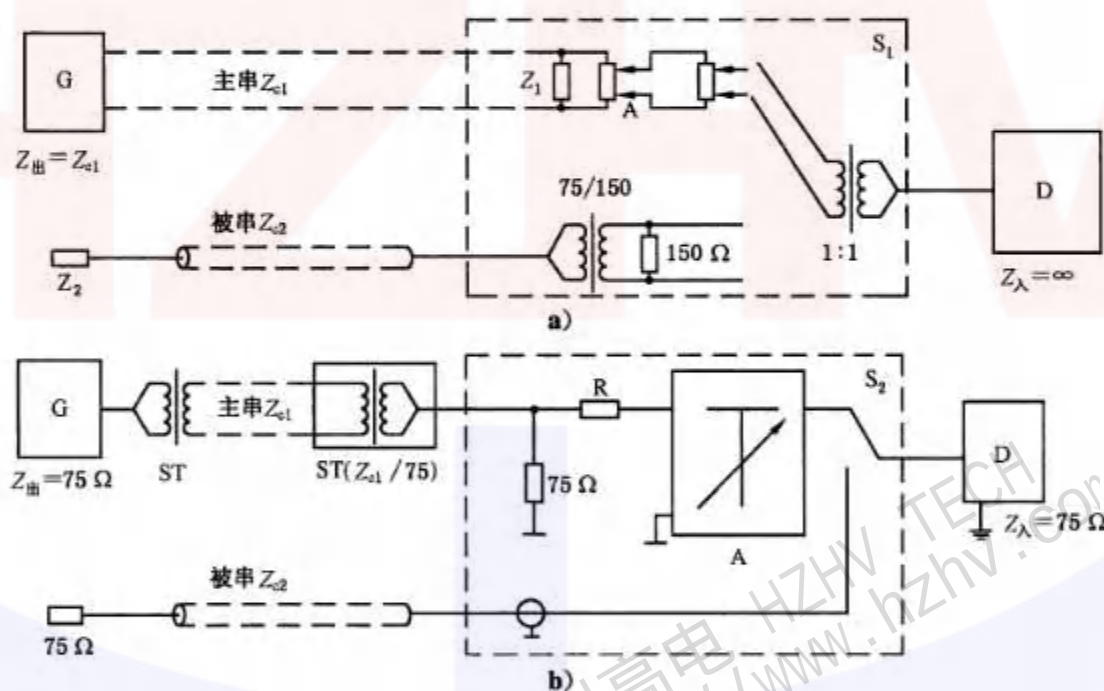
D — 选频电平表;

 S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω /75 Ω)的对称串音测试器; S_2 — 同轴串音测试器;

A — 可变衰减器;

R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻; $Z_1 = Z_{c1}, Z_2 = Z_{c2}$ — 负载电阻;ST — $Z_c/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_c 为被接线对的特性阻抗)。

图 18 (续)



说明:

G — 振荡器;

 Z_{c1} — 主串线路的特性阻抗; Z_{c2} — 被串线路的特性阻抗;

D — 选频电平表;

 S_1 — 带有对称转不对称变量器(150 Ω /75 Ω)的对称串音测试器; S_2 — 同轴串音测试器;

A — 可变衰减器;

R — 串音测试器 S_2 中可变衰减器前的固定高电阻; $Z_1 = Z_{c1}, Z_2 = Z_{c2}$ — 负载电阻;ST — $Z_c/75 \Omega$ 对称转不对称阻抗变量器(Z_c 为被接线对的特性阻抗)。

图 19 四线组线对(或线对)串同轴对(简称四串同)的远端串音测试系统原理图

5.5.1.2.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 根据对称或同轴对电缆的不同串音要求,采用相应的串音测试仪器或通用仪器;
- b) 衰减器的测试误差应符合表 7 规定;
- c) 串音测试仪输入的对称变量器及测试回路中采用的对称转不对称阻抗变量器 ST 的对称输出端的对称度应能满足表 7 规定的测试误差要求;
- d) 振荡器输出电平及指示器测量电平的最小可读数值应能满足测试需要,即在最大的被测串音值时,应有明显的读数。必要时,允许加入功率放大器或前置以提高测试灵敏度;
- e) 仪器的比较电键、引线插头、插座、匹配电阻盒等插接件,应保持接触良好;
- f) 连接仪器和电缆用的全部引线应采用具有足够屏蔽性能的导线。连接同轴对的引线应用同轴引线,连接四线组对称线对的引线应用对称引线;
- g) 主串终端和被串线对的两端应分别接入与线路特性阻抗模数相等的负载电阻,其偏差应不超过线路特性阻抗模数的 $\pm 5\%$ 。测试频率高于 300 kHz 时,应采用带有屏蔽的负载电阻进行匹配;
- h) 当被测线对未接入时,整个测试系统,包括连接引线、负载电阻、阻抗变量器、开关等所引起的串音应比被测线对最大串音大 20 dB。

表 7 衰减器的测试误差

衰减范围 dB	测试误差 dB		
	(0.8~150)kHz	(150~300)kHz	(300~1 000)kHz
小于或等于 90	± 0.5	± 0.5	± 0.8
大于 90,小于或等于 120	± 1.0	± 1.0	± 2.5
大于 120,小于或等于 161	± 2.0	± 2.0	± 3.0

5.5.1.3 试样准备

试样为制造长度的成品电缆。

5.5.1.4 测试步骤

5.5.1.4.1 按图 12~图 19 接线图中选定的接线方式接好测试系统,并检查下列各项:

- a) 检查测试系统连接的正确性及各种接插件是否接触良好;
- b) 检查指示器选频的正确性,并根据 5.5.1.2.2d) 的要求检查测试系统的灵敏度。在满足最大被测串音值的情况下,衰减器变动 0.5 dB(或 1 dB)时,选频表读数应有明显变化;
- c) 当被测线对未接入时,衰减器读数在最大被测串音值上,比较电键在“仪器”与“线路”两个位置时,选频表读数的差值应符合 5.5.1.2.2h) 的规定;
- d) 将衰减器衰减值变动 10 dB,指示器应有相近的读数变化。

5.5.1.4.2 当 5.5.1.4.1c) 和 d) 的检查结果达不到规定要求时,应进行原因分析或接地试验。在去除干扰影响后,才能进行正式测试。

5.5.1.4.3 接上被测电缆,将比较电键置于“线路”位置,调节选频表的输入衰减器及灵敏度使表头指针于适当位置。然后将比较电键置于“仪器”位置,调节可变衰减器使选频表头指针回到原来的位置,记下

衰减器的读数 b_r 。

5.5.1.5 测试结果计算

5.5.1.5.1 同轴对之间及对称线对之间的近端串音值计算公式

采用图 12a)、图 12b) 和图 13b) 接线时, 同轴对之间及对称线对之间的近端串音值按式(29)计算。

$$B_o = b_r \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:

B_o ——实际的近端串音, 单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数, 单位为分贝(dB)。

采用图 13a) 接线时, 同轴对之间及对称线对之间的近端串音值按式(30)计算。

$$B_o = b_r + 10 \lg \frac{Z_{e2}}{Z_{e1}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

B_o ——实际的近端串音, 单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数, 单位为分贝(dB);

Z_{e1} ——主串线路的特性阻抗, 单位为欧姆(Ω);

Z_{e2} ——被串线路的特性阻抗, 单位为欧姆(Ω)。

5.5.1.5.2 同轴对之间及对称线对之间的远端串音计算公式

采用图 16a)、图 16b) 和图 17b) 接线时, 同轴对之间及对称线对之间的远端串音值按式(31)计算。

$$B_l = b_r \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

B_l ——实际的远端串音, 单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数, 单位为分贝(dB)。

采用图 17a) 接线时, 同轴对之间及对称线对之间的远端串音值按式(32)计算。

$$B_l = b_r + 10 \lg \frac{Z_{e2}}{Z_{e1}} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

B_l ——实际的远端串音, 单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数, 单位为分贝(dB);

Z_{e1} ——主串线路的特性阻抗, 单位为欧姆(Ω);

Z_{e2} ——被串线路的特性阻抗, 单位为欧姆(Ω)。

5.5.1.5.3 同轴对串四线组线对的近端串音值计算公式

采用图 14a) 接线时, 同轴对串四线组线对的近端串音值按式(33)计算。

$$B_o = b_r + 10 \lg \frac{Z_{e2}}{150} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

B_o ——实际的近端串音, 单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数, 单位为分贝(dB);

Z_{e2} ——被串线路的特性阻抗, 单位为欧姆(Ω)。

采用图 14b) 接线时, 同轴对串四线组线对的近端串音值按式(29)计算。

5.5.1.5.4 同轴对串四线组线对的远端串音值计算公式

采用图 18a) 接线时,同轴对串四线组线对的远端串音值按式(34)计算。

$$B_1 = b_r + 10 \lg \frac{Z_{c2}}{150} \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

B_1 ——实际的远端串音,单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数,单位为分贝(dB);

Z_{c2} ——被串线路的特性阻抗,单位为欧姆(Ω)。

采用图 18b) 接线时,同轴对串四线组线对的远端串音值按式(31)计算。

5.5.1.5.5 四线组线对串同轴对近端串音值计算公式

采用图 15a) 接线时,四线组线对串同轴对近端串音值按式(35)计算。

$$B_o = b_r + 10 \lg \frac{150}{Z_{c1}} \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

B_o ——实际的近端串音,单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数,单位为分贝(dB);

Z_{c1} ——主串线路的特性阻抗,单位为欧姆(Ω)。

采用图 15b) 接线时,四线组线对串同轴对近端串音值按式(29)计算。

5.5.1.5.6 四线组线对串同轴对远端串音计算公式

采用图 19a) 接线时,四线组线对串同轴对远端串音值按式(36)计算。

$$B_1 = b_r + 10 \lg \frac{150}{Z_{c1}} \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

B_1 ——实际的远端串音,单位为分贝(dB);

b_r ——衰减测试器读数,单位为分贝(dB);

Z_{c1} ——主串线路的特性阻抗,单位为欧姆(Ω)。

采用图 19b) 接线时,四线组线对串同轴对远端串音值按式(31)计算。

5.5.1.6 其他技术要求

5.5.1.6.1 测试系统在一般情况下可不接地,如需接地时,应通过接收端一点接地。

5.5.1.6.2 进行同串四或四串同测量时,在测量端需接入对称转不对称变量器。变量器与被测线对连接的引线长度一般应不大于 0.5 m。

5.5.1.6.3 所有被测四线组的端头应短于同轴对屏蔽钢带层。

5.5.1.6.4 接线时同轴对外导体应全部插入引线插头。

5.5.1.6.5 测试时,振荡器和功率放大器应尽可能远离测试系统。

5.5.2 电平差法

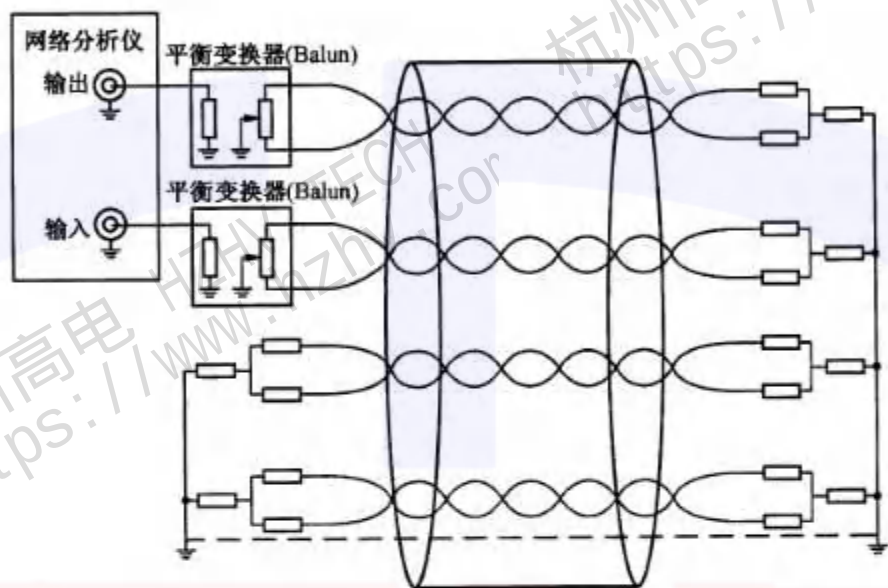
5.5.2.1 概述

本方法测试频率范围为 40 GHz 以下。若仪表性能允许,也适用于更高的频率范围。

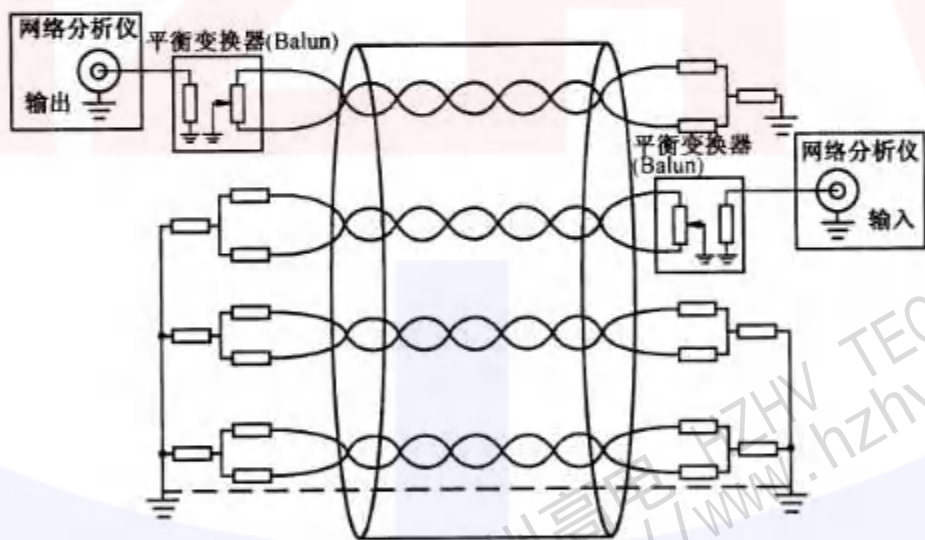
5.5.2.2 试验设备

5.5.2.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 20。



a) 对称电缆近端串音测试



b) 对称电缆远端串音测试

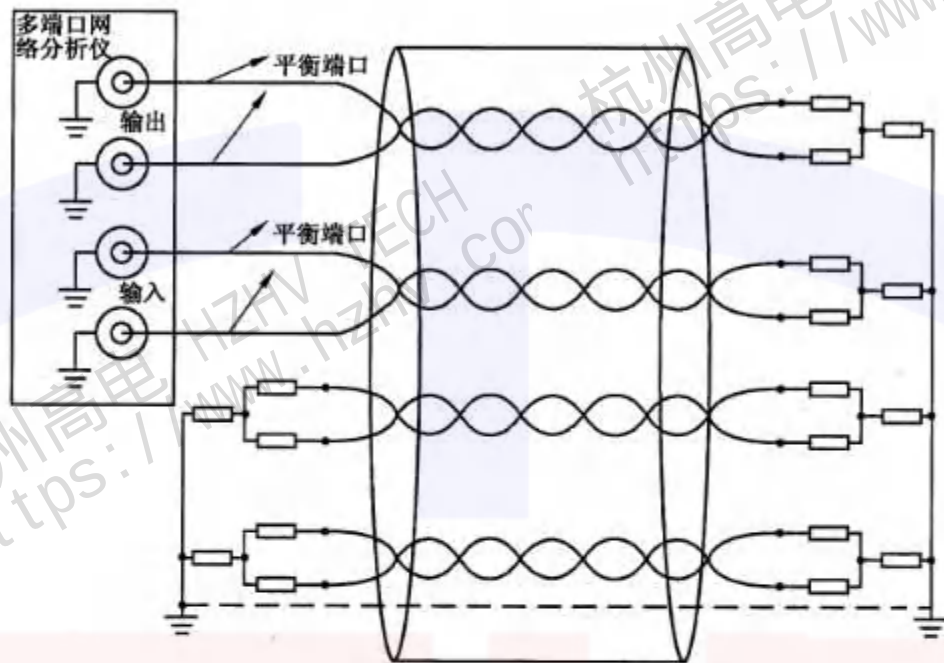
图 20 串音测试系统原理图

5.5.2.2.2 测试仪器

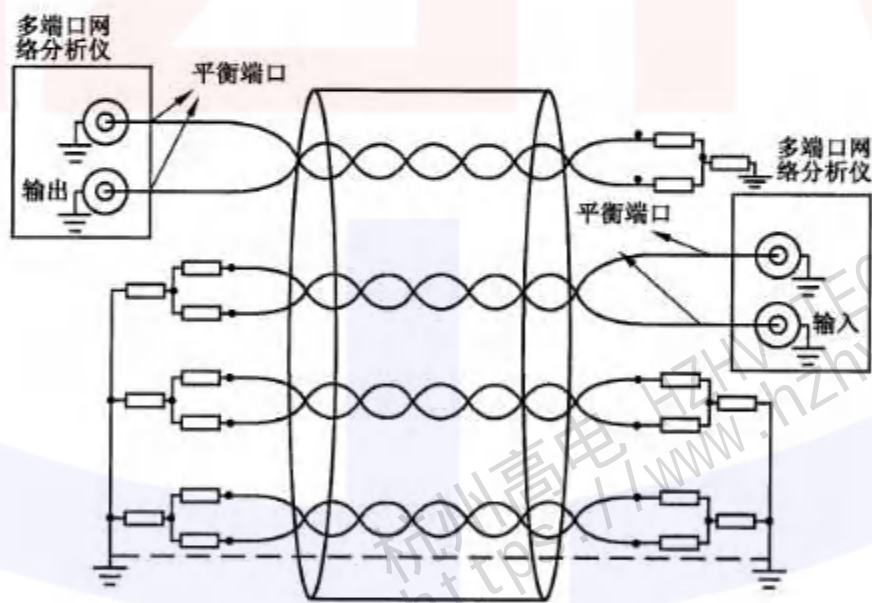
测试仪器应符合下列要求：

- a) 试验设备应采用满足试样测试的网络分析仪，见图 20，也可采用分离的信号源和接收器；
- b) 端口匹配：对称电缆测试采用平衡变换器(Balun)，实现不平衡端与平衡端变换，且平衡端应与被测线对的标称特性阻抗匹配；
- c) 终端阻抗：主、被串线对近端(或远端)应接入合适的共模和差模阻抗。所接入的终端阻抗应等于线对的标称特性阻抗模值，终端阻抗与标称特性阻抗模值的偏差应不超过 $\pm 1\%$ ；

- d) 测试时其余线对近端(或远端)应接入终端阻抗。同时为使末端的耦合效应最小,在剥去电缆护套时,应保持各线对的扭绞并很好地将线对分开;
- e) 被测电缆若有屏蔽,应在电缆近端和远端分别接地;
- f) 对于多端口网络分析仪,可以通过端口配置实现平衡端口,满足对称电缆的测试,见图 21。



a) 对称电缆近端串音测试



b) 对称电缆远端串音测试

图 21 多端口网络分析仪串音测试系统原理图

5.5.2.3 测试步骤

5.5.2.3.1 在接入被测线对前,先完成测试系统的校验,见图 22。校验应满足测试所需频率范围及阻抗匹配。

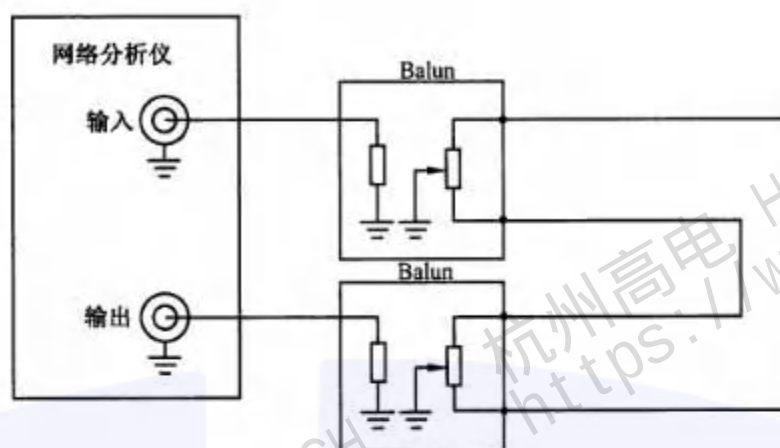


图 22 测试系统校验图

5.5.2.3.2 按图 20、图 21 测试系统原理图连接被测线对，由网络分析仪上直接读取近端串音或远端串音值。

5.5.3 测试结果计算

5.5.3.1 近端串音平均值及标准差

近端串音平均值及标准差分别按式(37)和式(38)计算。

$$M = \sum_{i=1}^n N_{ij} / n \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{ij} - M)^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中：

M ——近端串音平均值，单位为分贝(dB)；

n ——测试线对的组合数；

N_{ij} ——主串线对 x 和被串线对 y 间的近端串音，单位为分贝(dB)；

S ——近端串音标准差，单位为分贝(dB)。

5.5.3.2 等电平远端串音功率平均值

等电平远端串音功率平均值按式(39)计算。

$$MP = -10 \lg \left(\frac{\sum_{i=1}^n 10^{-F_{ij}/10}}{n} \right) \quad \dots\dots\dots (39)$$

式中：

MP ——等电平远端串音功率平均值，单位为分贝(dB)；

n ——测试线对的组合数；

F_{ij} ——主串线对 x 和被串线对 y 间的等电平远端串音，单位为分贝(dB)。

5.5.3.3 近端和远端串音功率和(PS)

近端和远端串音功率和按式(40)计算。

$$PS_j = -10 \lg \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (10^{-\frac{X-Talk_{ij}}{10}}) \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中：

PS_j ——第 j 线对(或四线组的一对线)的功率和,单位为分贝(dB)；

n ——对绞组(或四线组的一对线)数；

$X-Talk_{ij}$ ——第 j 线对(或四线组的一对线)与第 i 线对(或四线组的一对线)之间的串音,单位为分贝(dB)。

5.6 衰减性能试验

5.6.1 对称电缆衰减性能测试

5.6.1.1 开短路法

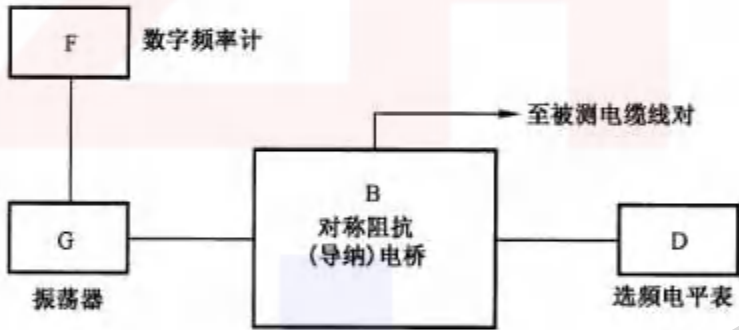
5.6.1.1.1 概述

本方法适用于在任意频率下用开短路法(简称任意频率法)测量制造长度对称通信电缆(包括综合电缆中的四线组 和对称线对)的衰减常数。被测电缆的衰减范围为 10 dB 以内,测试频率范围为 2.5 MHz 以下。若仪表性能允许,也适用于更高的频率范围。

5.6.1.1.2 试验设备

5.6.1.1.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 23。



说明：

F——数字频率计；

G——振荡器；

B——电桥；

D——选频电平表。

图 23 测试系统原理图

5.6.1.1.2.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 振荡器:连续工作 4 h 的频率稳定度应不超过±0.5%；输出电平应为 0 dB~20 dB；
- b) 电桥:精度应为±2%。测量对称电缆应采用对称的阻抗(导纳)电桥；
- c) 选频电平表:灵敏度应不低于-90 dB(不包括表头)；
- d) 数字频率计:显示数字的位数应不少于 6 位,频率稳定度应不超过±1.5×10⁻⁷/24 h。

5.6.1.1.3 试样准备

试样为制造长度的成品电缆。

5.6.1.1.4 试验步骤

5.6.1.1.4.1 按图 23 测试系统原理图连接测试系统,在不接入试样电缆的情况下,接通电源,预热仪器,直至稳定。

5.6.1.1.4.2 将电桥的电导(电阻)和电容(电感)各测量档置于“零”位。“相角”选择旋钮置于“容性”(感性)位置。

5.6.1.1.4.3 将振荡器调整至所需测试频率,指示器选频后逐渐增加灵敏度,交替调节电导(电阻)、电容(电感)零平衡旋钮,直至电桥平衡。如用引线连接被测电缆,应带着引线进行零平衡。

5.6.1.1.4.4 将终端开路的被测电缆接在电桥的测试接线端子或引线上,逐渐增加指示器灵敏度,交替调节电导(电阻)、电容(电感)测量旋钮,直至电桥平衡。读取 $G_{\infty}(R_{\infty})$ 、 $C_{\infty}(L_{\infty})$ 。

5.6.1.1.4.5 取下电缆,保持振荡器输出频率不变,将电桥“相角”选择旋钮置于“感性”(容性)位置;将各测量档置于零位,按 5.6.1.1.4.3 进行零平衡。然后将终端短路的被测电缆接在电桥的测试接线端子或引线上,按 5.6.1.1.4.4 进行测试。读取 $G_0(R_0)$ 、 $C_0(L_0)$ 。

5.6.1.1.4.6 在实施 5.6.1.1.4.4、5.6.1.1.4.5 电桥达不到平衡时,应改变“相角”选择旋钮的位置,重新进行电桥零平衡后进行测试。

5.6.1.1.5 测试结果及计算

单位长度电缆的衰减常数按式(41)计算。

$$\alpha = \frac{4.343}{l} \times \operatorname{th}^{-1} \frac{2 \times T \times \cos \varphi_T}{1 + T^2} \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$T = \sqrt{Z_0 / Z_{\infty}} \quad \dots\dots\dots (42)$$

$$\varphi_T = \frac{(\varphi_0 - \varphi_{\infty})}{2} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

α —— 被测电缆衰减常数,单位为分贝每千米(dB/km);

l —— 被测电缆长度,单位为千米(km);

R —— 电桥平衡时的电阻读数(终端短路时为 R_0 ,开路时为 R_{∞}),单位为欧姆(Ω);

G —— 电桥平衡时的电导读数(终端短路时为 G_0 ,开路时为 G_{∞}),单位为西门子(S);

L —— 电桥平衡时的电感读数(终端短路时为 L_0 ,开路时为 L_{∞}),单位为亨(H);

C —— 电桥平衡时的电容读数(终端短路时为 C_0 ,开路时为 C_{∞}),单位为法(F);

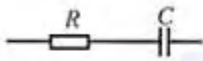
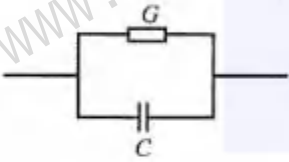
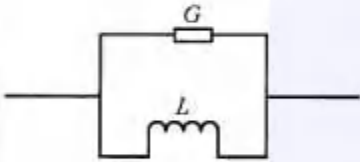
Z —— 输入阻抗(终端短路时为 Z_0 ,开路时为 Z_{∞}),单位为欧姆(Ω);

ω —— 角频率, $2\pi f$;

f —— 频率,单位为赫兹(Hz)。

Z_0 、 Z_{∞} 、 φ_0 、 φ_{∞} 应根据电桥平衡支路不同的等效电路,按表 8 所列公式进行计算。

表 8 电桥平衡支路不同的等效电路计算公式

序号	平衡支路等效电路	测试结果	阻抗与相角计算公式
1		$R(R_0 \text{ 或 } R_\infty)$ $C(C_0 \text{ 或 } C_\infty)$	$\varphi = -\arctg \frac{1}{\omega \times C \times R}$ $ Z = \frac{R}{\cos \varphi}$ 当 $\varphi \rightarrow 90^\circ$ 时 $ Z = \frac{1}{\omega \times C \times \sin \varphi}$
2		$G(G_0 \text{ 或 } G_\infty)$ $C(C_0 \text{ 或 } C_\infty)$	$\varphi = -\arctg \frac{\omega \times C}{G}$ $ Z = \frac{\cos \varphi}{G}$ 当 $\varphi \rightarrow 90^\circ$ 时 $ Z = \frac{\sin \varphi}{\omega \times C}$
3		$R(R_0 \text{ 或 } R_\infty)$ $L(L_0 \text{ 或 } L_\infty)$	$\varphi = \arctg \frac{\omega \times L}{R}$ $ Z = \frac{R}{\cos \varphi}$ 当 $\varphi \rightarrow 90^\circ$ 时 $ Z = \frac{\omega \times L}{\sin \varphi}$
4		$G(G_0 \text{ 或 } G_\infty)$ $C(C_0 \text{ 或 } C_\infty)$ $= \frac{1}{\omega^2 L}$	$\varphi = \arctg \frac{\omega \times C}{G}$ $ Z = \frac{\cos \varphi}{G}$ 当 $\varphi \rightarrow 90^\circ$ 时 $ Z = \frac{\sin \varphi}{\omega \times C}$
当阻抗为“容性”时,相角应取“负”值;阻抗为“感性”时,相角应取“正”值。			

5.6.1.1.6 其他技术要求

- 5.6.1.1.6.1 一般情况下,电缆应直接旋紧在电桥上。若用连接引线,引线应尽可能短,并与被测电缆阻抗匹配。
- 5.6.1.1.6.2 开短路法测试过程中,改变“相角”选择旋钮位置或改变测试频率时,都应重新进行电桥零平衡。
- 5.6.1.1.6.3 开短路法测试,应在同一频率、同一测试环境下进行电桥零平衡,完成电缆“终端开路”和“终端短路”两种状态的测试。
- 5.6.1.1.6.4 使用开短路法测试电缆线对的衰减频率特性时,所选择的频率应避开被测电缆的谐振频率。

5.6.1.1.6.5 计算结果应至少取三位有效数字。

5.6.1.2 电平差法

5.6.1.2.1 概述

本方法适用于测量对称通信电缆(包括综合电缆中的四线组 and 对称线对)的衰减(插入损耗)。本方法测试频率范围为 40 GHz 以下。若仪表性能允许,也适用于更高的频率范围。

5.6.1.2.2 试验设备

5.6.1.2.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 24。

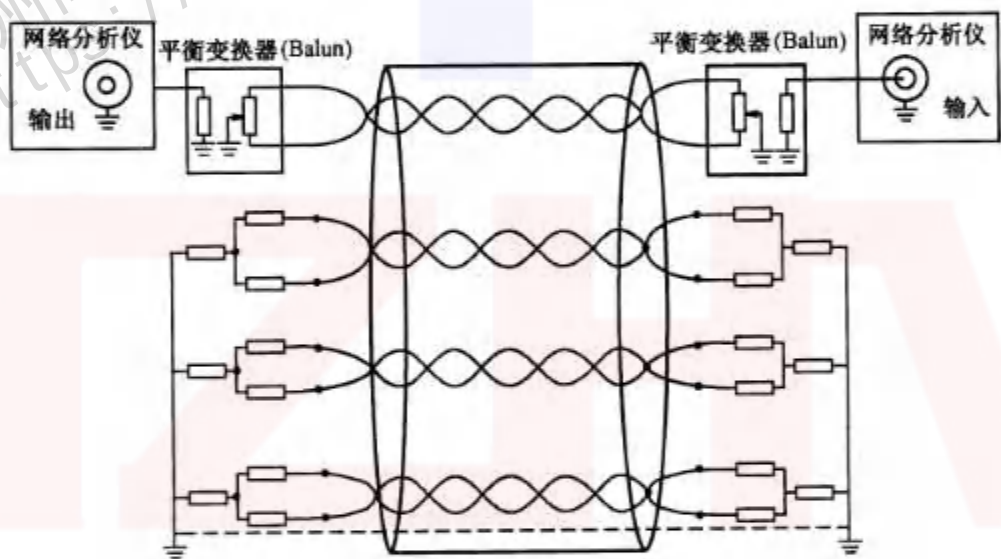


图 24 网络分析仪测试系统原理图

5.6.1.2.2.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- a) 试验设备应采用满足试样测试的网络分析仪,见图 24;也可采用分离的信号源和接收器;
- b) 平衡变换器(Balun):对称电缆测试采用平衡变换器,实现不平衡端与平衡端变换,且平衡端应与被测线对的标称特性阻抗匹配;
- c) 终端阻抗:其余非被测线对近端(或远端)应接入合适的共模和差模阻抗。所接入的终端阻抗应等于线对的标称特性阻抗模值,终端阻抗与标称特性阻抗模值的偏差应不超过 $\pm 1\%$;
- d) 被测电缆若有屏蔽,应在电缆近端和远端分别接地;
- e) 对于多端口网络分析仪,可以通过端口配置实现平衡端口,满足对称电缆的测试,见图 25。

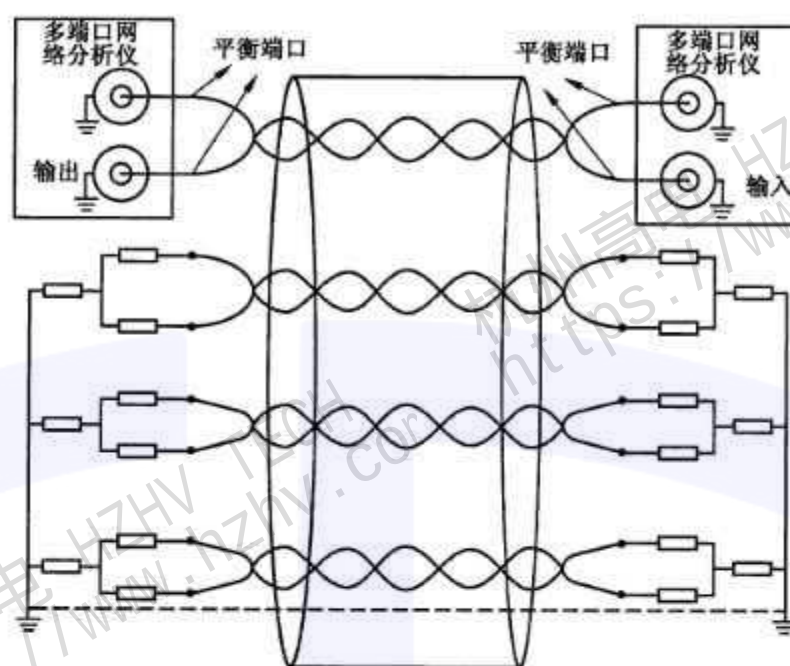


图 25 多端口网络分析仪测试系统原理图

5.6.1.2.3 试验步骤

5.6.1.2.3.1 在接入被测线对前，应先完成测量系统的校验，见图 26。检验应满足测试所需频率范围及阻抗匹配。

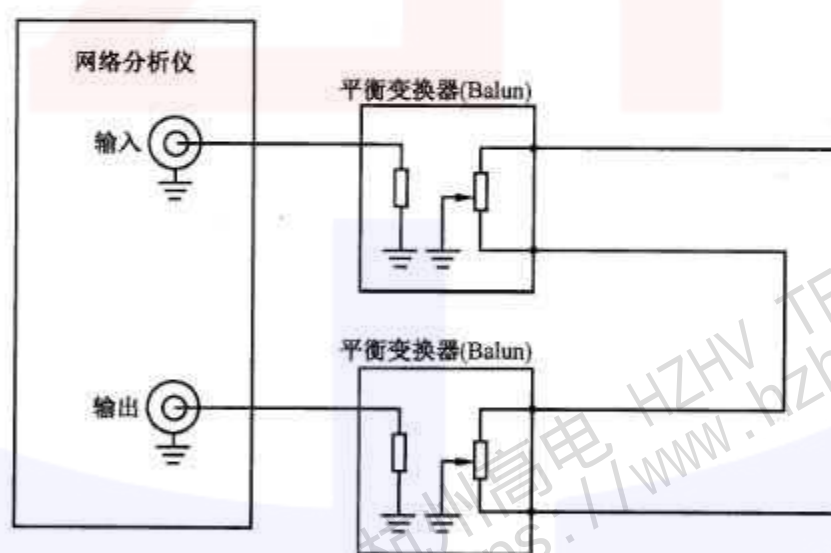


图 26 测量系统校验原理图

5.6.1.2.3.2 按图 24 连接被测线对，由网络分析仪上直接读取线对插入衰减值。

5.6.1.2.4 测试结果及计算

应用电平差法，当电缆特性阻抗与试验设备阻抗匹配时，单位长度电缆的衰减常数按式(44)计算。

$$\alpha = \alpha_0 \times \frac{l'}{l} \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$\alpha_0 = 10\lg(P_1/P_2) \dots\dots\dots(45)$$

式中：
 α_0 ——衰减测试值，单位为分贝(dB)；
 P_1 ——负载阻抗等于信号源阻抗时的输入功率，单位为毫瓦(mW)；
 P_2 ——负载阻抗等于试验样品阻抗时的输出功率，单位为毫瓦(mW)；
 α ——衰减常数，单位为分贝每千米(dB/km)；
 l' ——单位长度，单位为千米(km)；
 l ——试验样品长度，单位为千米(km)。

衰减换算到 20℃时，按式(46)计算。

$$\alpha_{20} = \alpha/[1 + \delta_{\text{CABLE}} \times (T - 20)] \dots\dots\dots(46)$$

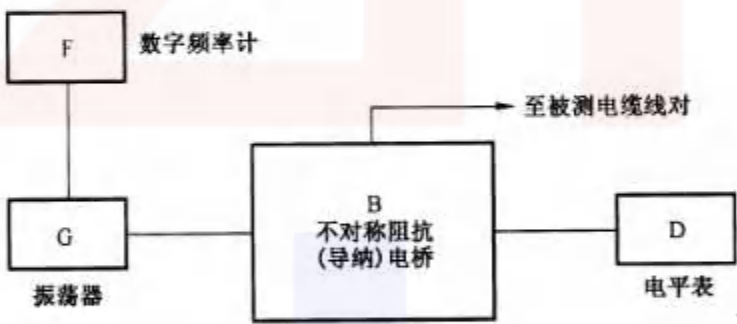
式中：
 α_{20} ——换算到 20℃时衰减值，单位为分贝每千米(dB/km)；
 δ_{CABLE} ——温度系数；
 T ——环境温度，温度为摄氏度(℃)。

5.6.2 同轴对衰减性能测试

5.6.2.1 谐振频率法

5.6.2.1.1 试验设备

测试系统原理图见图 27。



说明：
F——数字频率计；
G——振荡器；
B——电桥；
D——选频电平表。

图 27 测试系统原理图

5.6.2.1.2 试验步骤

- 5.6.2.1.2.1 按 5.4 估算出谐振频率及其间隔，选定与所需测定频率最接近的 f_n' ，作为测试频率。
- 5.6.2.1.2.2 试样终端短路，按 5.4 从数字频率计上读取谐振频率 f_{nm0} ，从电桥的电阻(或电导)档上读取 R_0 (或 G_0)。
- 5.6.2.1.2.3 试样终端开路，按 5.4 从数字频率计上读取谐振频率 $f_{nm\infty}$ ，从电桥的电阻(或电导)档上读取 R_∞ (或 G_∞)。

5.6.2.1.2.4 若 f_{nm0} (或 $f_{nm\infty}$) 与估算的 f'_n 值偏离较大,应使振荡器输出在 f_{nm0} (或 $f_{nm\infty}$) 的频率下,重复 5.4 中的步骤进行复测。

5.6.2.1.3 测试结果及计算

实际谐振频率按式(47)计算。

$$f_n = \frac{f_{nm0} + f_{nm\infty}}{2} \dots\dots\dots (47)$$

式中:

f_n ——实际谐振频率,单位为赫兹(Hz);

f_{nm0} ——试样终端短路谐振频率,单位为赫兹(Hz);

$f_{nm\infty}$ ——试样终端开路谐振频率,单位为赫兹(Hz)。

阻抗电桥测试时,衰减常数按式(48)和式(49)计算。

$$\text{当 } R_0 \leq R_\infty \text{ 时: } \alpha = \frac{8.686}{l} \times \text{th}^{-1} \sqrt{R_0/R_\infty} \dots\dots\dots (48)$$

$$\text{当 } R_0 > R_\infty \text{ 时: } \alpha = \frac{8.686}{l} \times \text{th}^{-1} \sqrt{R_\infty/R_0} \dots\dots\dots (49)$$

导纳电桥测试时,衰减常数按式(50)和式(51)计算。

$$\text{当 } G_0 \leq G_\infty \text{ 时: } \alpha = \frac{8.686}{l} \times \text{th}^{-1} \sqrt{G_0/G_\infty} \dots\dots\dots (50)$$

$$\text{当 } G_0 > G_\infty \text{ 时: } \alpha = \frac{8.686}{l} \times \text{th}^{-1} \sqrt{G_\infty/G_0} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

l ——被测电缆长度,单位为千米(km);

G_0 ——试样终端短路谐振时电桥电导读数,单位为西门子(S);

G_∞ ——试样终端开路谐振时电桥电导读数,单位为西门子(S);

R_0 ——试样终端短路谐振时电桥电阻读数,单位为欧姆(Ω);

R_∞ ——试样终端开路谐振时电桥电阻读数,单位为欧姆(Ω)。

5.6.2.2 比较法

5.6.2.2.1 概述

本方法适用于用比较法测量同轴对的衰减常数频率特性。

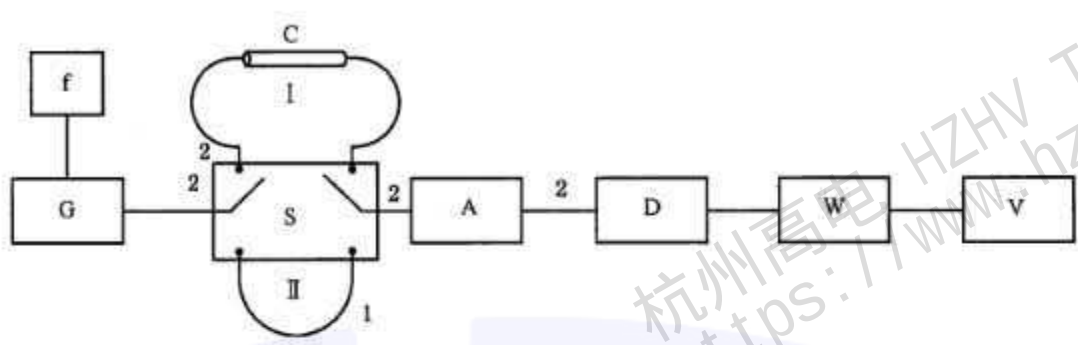
测试频率为 0.06 MHz~70 MHz,测试衰减的最大值为 40 dB。若仪表性能允许,也适用于更高的频率与更大的衰减值。

在测试 10 dB 以上的衰减值时,测试精度应优于 $\pm 0.1\%$ 。

5.6.2.2.2 试验设备

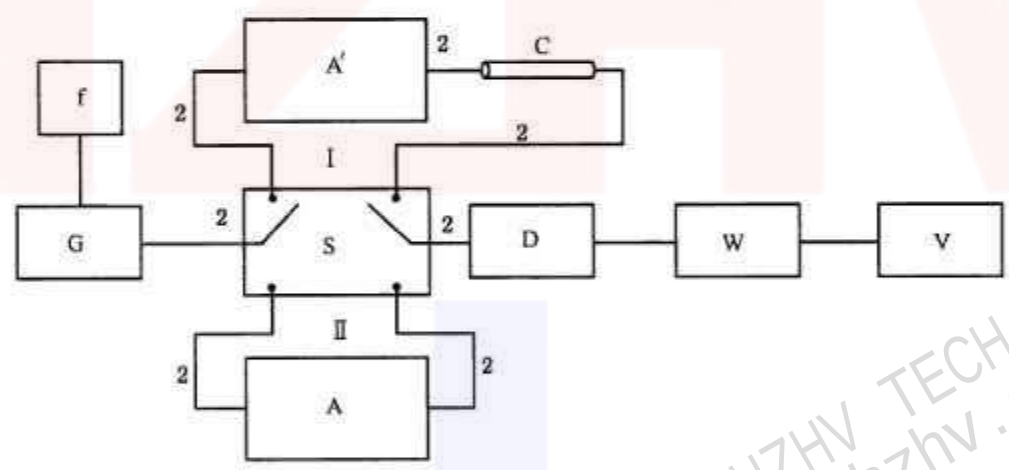
5.6.2.2.2.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 28、图 29 和图 30。



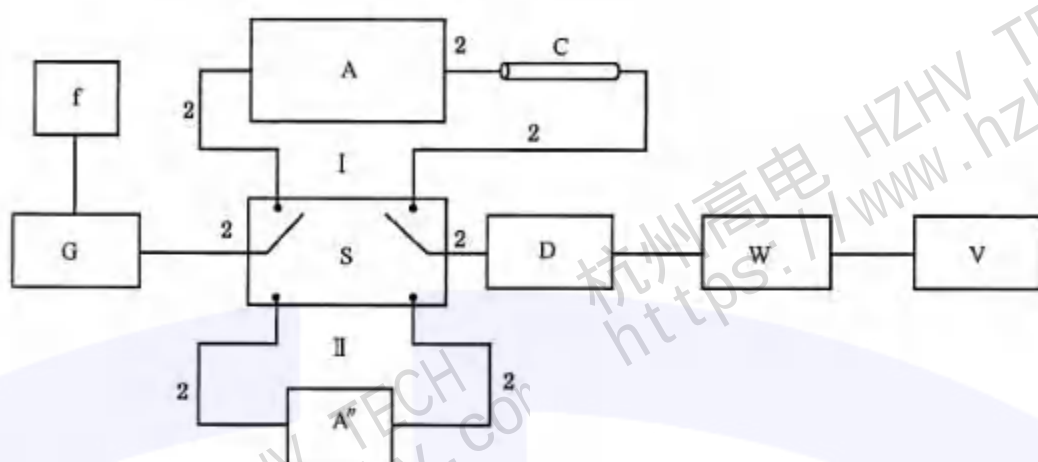
- 说明：
- | | |
|------------------------|-------------|
| f —— 数字式频率计； | S —— 同轴开关； |
| C —— 被测同轴对； | W —— 可变分压器； |
| G —— 振荡器； | V —— 数字电压表； |
| D —— 选频电平表； | I —— 1 支路； |
| 1 —— 同轴短接线； | II —— 2 支路； |
| 2 —— 75 Ω 同轴引线； | A —— 可变衰减器。 |

图 28 串联比较法测试系统原理图



- 说明：
- | | |
|------------------------|------------------------|
| f —— 数字式频率计； | W —— 可变分压器； |
| C —— 被测同轴对； | V —— 数字电压表； |
| G —— 振荡器； | I —— 1 支路； |
| D —— 选频电平表； | II —— 2 支路； |
| 2 —— 75 Ω 同轴引线； | A —— 可变衰减器； |
| S —— 同轴开关； | A' —— 通常为 1 dB 的固定衰减器。 |

图 29 并联比较法测试系统原理图



说明：

- f —— 数字式频率计；
- C —— 被测同轴对；
- G —— 振荡器；
- D —— 选频电平表；
- 2 —— 75 Ω 同轴引线；
- S —— 同轴开关；
- W —— 可变分压器；
- V —— 数字电压表；
- I —— 1 支路；
- II —— 2 支路；
- A —— 可变衰减器；
- A'' —— 与 A 同型号可变衰减器作固定衰减用。

图 30 串并联比较法测试系统原理图

5.6.2.2.2.2 测试仪器

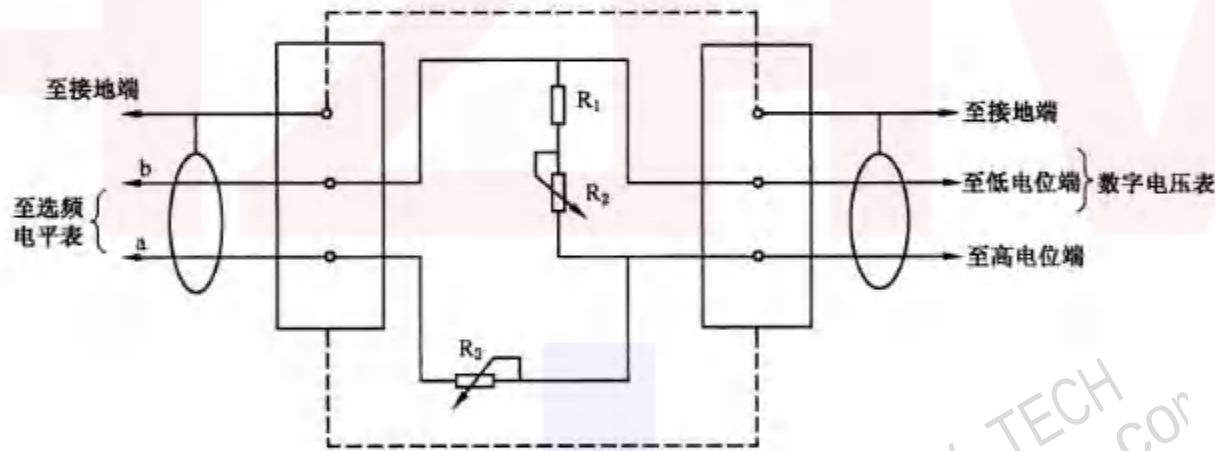
测试仪器应符合下列要求：

- a) 振荡器：输出阻抗为 75 Ω ，在所需使用的频带内，对 75 Ω 电阻的失配衰减应不低于 32 dB，并能以 0.1 MHz 或更小步级锁定频率。
- b) 选频电平表：输入阻抗为 75 Ω ，在所需使用的频带内，对 75 Ω 电阻的失配衰减应不低于 32 dB。且在恒定输入时，直流输出电平的时间变化应不大于 1×10^{-3} dB。
- c) 可变衰减器：
 - 1) 各档衰减值总和应不低于 40 dB，最小档的分辨率应不超过 0.1 dB；
 - 2) 所需使用的频带应在衰减器的工作频带之内。当衰减器在所需使用的频带内，衰减值的残留频率特性（即图 28 中的衰减器，在一次比较测试中两次衰减读数的衰减频率特性修正值之差；图 29、图 30 中两只衰减器的频率特性之差）在 $\pm 1 \times 10^{-3}$ dB 之内，可以不作频率特性修正，直接采用直流校正值，否则应进行衰减值的频率特性修正；
 - 3) 在测试环境的最低温度和最高温度的范围内，衰减器各档的衰减值将随温度变化，如果由于温度的变化使衰减器各档衰减值变化在 1×10^{-3} dB 之内，可以不作温度特性的修正，否则应进行衰减值的温度特性修正；
 - 4) 当衰减器输出终端接 75 Ω 纯电阻时，衰减器在任何档位，其对 75 Ω 的失配衰减应不低于 32 dB；

- 5) 衰减器应具有良好的机械结构,以确保频繁操作后仍有良好的重复性;
- 6) 应定期在测试环境上限温度和下限温度附近进行直流校正及测试频率范围内的交流校正,以取得衰减值的修正值、修正值的温度系数及频率特性的修正值。修正值的温度系数以每3℃~5℃为一档计算。频率特性的修正值以每5 MHz~10 MHz为一档进行校正,然后根据具体情况进行修正。
- d) 同轴开关:阻抗为75Ω,失配衰减及串音衰减应符合列项g)、列项h)规定。接触电阻应小且稳定,以确保在恒定输入时,经频繁开关后输出无可以观察到的变化。

注:在没有适当的同轴开关时,允许采用插拨方式进行测试。

- e) 数字电压表:应有滤波装置,并能显示五位数字,其稳定性应确保在一次比较测试的时间内,最后一位数字的变化值不超过±2。
- f) 可变分压器:
 - 1) 可变分压器的线路见图31,可以自制。图中R₁、R₂、R₃值根据所选用的选频电平表直流输出电压的大小和电阻以及数字电压表的量程选定;
 - 2) 当选频电平表的直流输出两端都不接地时,图31中a、b两端可任意连接。若一端接地,则接地端应与b连接;
 - 3) 可变分压器的元件,特别是R₂、R₃电位器,应接触良好,至少应确保在一次比较测试时间内,在数字电压表上无可观察到的变化;
 - 4) 可变分压器与选频表的连接引线应采用具有良好屏蔽的引线。



说明:
R₁ ——电阻;
R₂、R₃ ——可变电位器。

图 31 可变分压器

- g) 图28~图30中从振荡器输出引线到选频电平表输入引线,整个测试系统失配衰减应不低于32 dB,在24 MHz以上频段可以允许30 dB;
- h) 测试系统中I支路连接被测同轴对带引线的两个插头(在终端连接75Ω电阻时)之间的串音衰减B值,应不低于按式(52)的计算值。

$$B = X - 20 \lg(0.115 \times 10^{-4} \times A_x) \dots\dots\dots (52)$$

式中:
B ——串音衰减,单位为分贝(dB);
X ——衰减测试要求值,单位为分贝(dB);
A_x ——被测同轴对的衰减值,单位为分贝(dB)。

5.6.2.2.3 试样准备

5.6.2.2.3.1 试样为制造长度的成品电缆,同轴对可以环接或串接(但应用正规的接续零件及接续方法进行),以满足在测试频带内衰减值为 10 dB 以上。

5.6.2.2.3.2 将取定的各盘电缆试样分别按 5.8 规定测量长度,或采用钢卷尺测量长度。

5.6.2.2.4 试验步骤

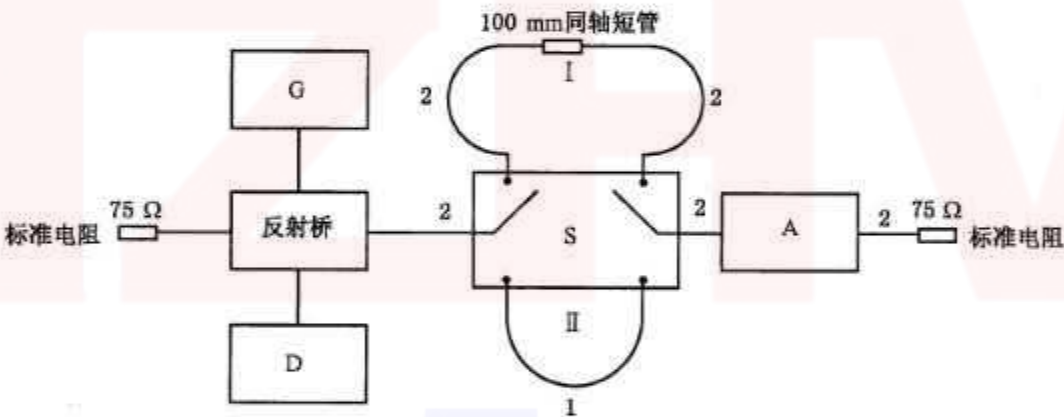
5.6.2.2.4.1 选择接线型式

从图 28、图 29、图 30 中选定测试系统的接线型式。

5.6.2.2.4.2 测量测试系统的失配衰减

测量测试系统的失配衰减,步骤如下:

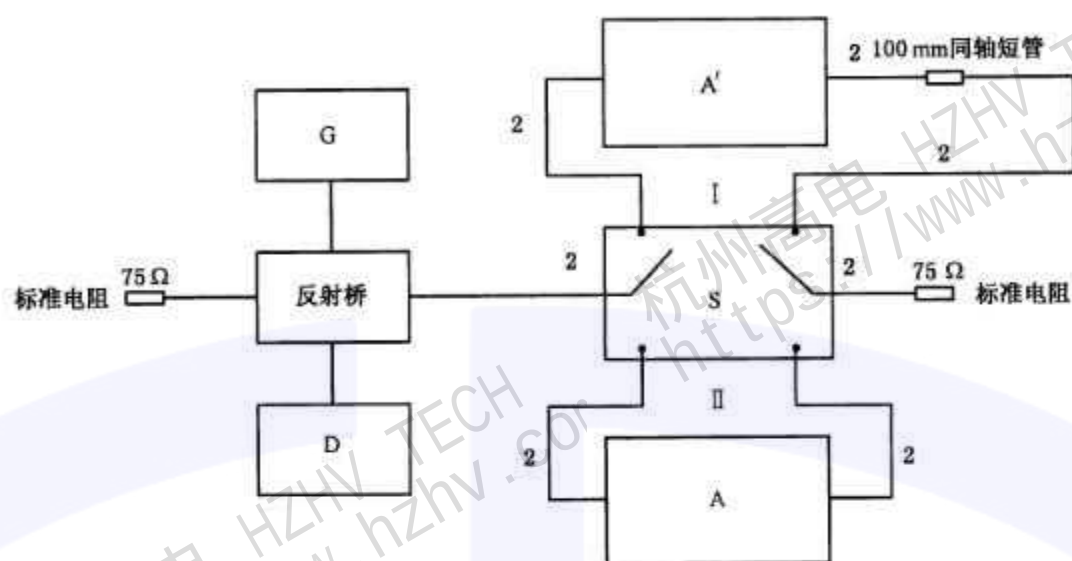
- a) 根据所选定的测试系统接线型式,从图 32、图 33、图 34 中选定测量测试系统失配衰减的接线型式,并连接好系统;
- b) 分别在 I、II 两个支路上进行测量。测量时,可变衰减器应置于“全零”(或最低值)位置;
- c) 当失配衰减达不到 5.6.2.2.2.2 中 g) 规定的 32 dB 值时,应加放具有一定衰减值的缓冲衰减器,使失配衰减达到 32 dB。



说明:

- G——振荡器;
- D——选频电平表;
- I——同轴短接线;
- 2——75 Ω 同轴引线;
- S——同轴开关;
- I——1 支路;
- II——2 支路;
- A——可变衰减器。

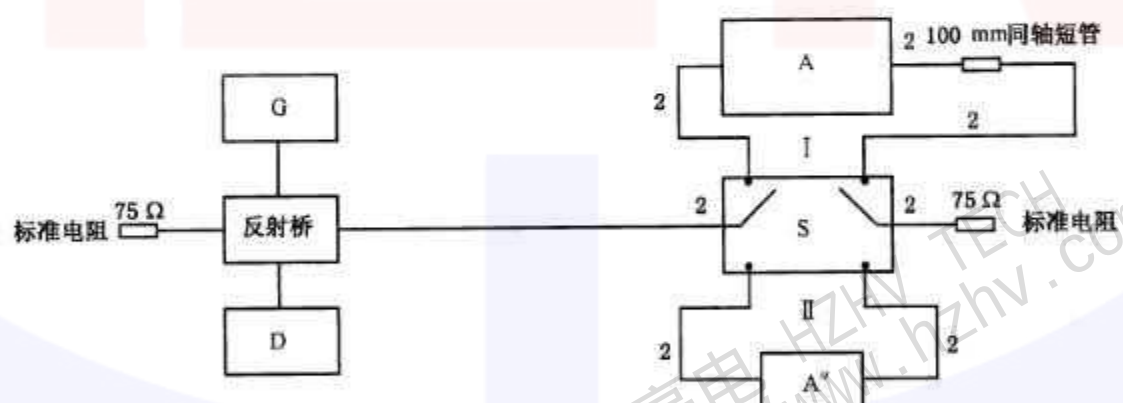
图 32 串联比较法系统失配衰减测试接线图



说明:

- G——振荡器;
- D——选频电平表;
- 2——75 Ω 同轴引线;
- S——同轴开关;
- I——1 支路;
- II——2 支路;
- A——可变衰减器;
- A'——通常为 1 dB 的固定衰减器。

图 33 并联比较法系统失配衰减测试接线图



说明:

- G——振荡器;
- D——选频电平表;
- 2——75 Ω 同轴引线;
- S——同轴开关;
- I——1 支路;
- II——2 支路;
- A——可变衰减器;
- A'——与 A 同型号可变衰减器作固定衰减用。

图 34 串并联比较法系统失配衰减测试接线图

5.6.2.2.4.3 测量测试系统的串音衰减

测量测试系统的串音衰减,步骤如下:

- 根据所选定的测试系统接线型式,按图 28、图 29 或图 30 连接好系统。或在连接试样的两根引线端头上分别连接上带有屏蔽的 75 Ω 电阻,直接插接或通过短段的同轴对连接;
- 将振荡器调至零电平输出,将可变衰减放在“全零”(或最低值)位置;
- 将同轴开关先放置在 II 支路上,调整选频表的频率及灵敏度,使选频表指示为零电平,或与衰减器最低值相应的电平值。再将同轴开关放置于 I 支路上,提高选频表灵敏度,读出接收电平值,两次电平的差值即为系统的串音衰减。

5.6.2.2.4.4 调试测试系统

调试测试系统,步骤如下:

- 根据所选定的测试系统接线型式,按图 28、图 29 或图 30 连接好测试系统;
- 选取一根与试样结构相同,长约 100 mm 的同轴对,代替试样接入测试系统;
- 接通电源,预热测试仪器,稳定后开始调试:
 - 将同轴开关放置在 II 支路上;
 - 将振荡器的输出阻抗置于 75 Ω ;输出电平调至 0 dB 或 -10 dB;输出频率调至最高测试频率,可变衰减器(图 28、图 29、图 30 中的 A 及 A')置于“全零”(或最低值)位置;选频电平的输入阻抗置于 75 Ω ,中频带宽调至适当的位置,使数字电压表读数最稳定,在低噪声工作状态下选出振荡器频率;
 - 调节振荡器输出细调或选频电平的灵敏度,使电平表表头指针在 0 dB 或 -10 dB 附近;
 - 调节可变分压器及数字电压表,使数字电压表显示五位数字。在一次比较测试时间内,当数字电压表的读数的数字差值不超过相当 1×10^{-3} dB 时,即可测量系统的修正值。

5.6.2.2.4.5 测量系统的修正值

调试测量系统的修正值,步骤如下:

- 采用图 28 的串联比较法及图 29 的并联比较法接线型式时,将可变衰减器置于零;采用图 30 串并联比较法接线型式时,估计最高测试频率时被测同轴对的衰减,将两只衰减器均放在略大于此值的位置上;
- 将同轴开关置于 II 支路上,调节可变分压器使数字电压表显示适当数字,记作 V_{IIy} 。再将同轴开关置于 I 支路上,读取数字电压表的数值,记作 V_{Iy} ;
- 采用图 28、图 29、图 30 时,系统修正值分别按式(53)、式(54)、式(55)计算。

$$A_y = 20 \lg \frac{V_{IIy}}{V_{Iy}} \quad \dots\dots\dots (53)$$

$$A_y = A_{IIy} + \Delta A_{IIy} + 20 \lg \frac{V_{IIy}}{V_{Iy}} \quad \dots\dots\dots (54)$$

$$A_y = A_{Iy} + \Delta A_{Iy} - 20 \lg \frac{V_{IIy}}{V_{Iy}} \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中:

A_{IIy} —— II 支路衰减器读数,单位为分贝(dB);

A_{Iy} —— I 支路衰减器读数,单位为分贝(dB);

ΔA_{IIy} —— II 支路衰减器读数修正值,单位为分贝(dB);

ΔA_{Iy} —— I 支路衰减器读数修正值,单位为分贝(dB)。

式(53)~式(55)中没有扣除长度为 100 mm 的同轴对的衰减值,此值在式(62)中处理。

系统修正值的测量应在试样衰减的各个频率点上进行。

5.6.2.2.4.6 测量试样的实际温度

采用下述方法测量试样的实际温度:

- a) 在有恒温室的条件下,将电缆试样放在恒温室内,直至试样护套内导体的直流电阻达到稳定,然后精确测定恒温室的温度,即为试样的实际温度。
- b) 在没有恒温室时,采用下列 1)、2) 中任一种方法测量:

1) 测温线法:

为充分利用电桥分辨率,在试样护套内选取具有适当直流电阻值的线芯(可将 n 根导体串联)作测温线。

在试样的电缆盘上悬挂分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度计。若试样为若干盘电缆组成,温度计应不少于两只,读数取诸温度计示值的平均值。

每隔 20 min~30 min 测量一次测温线的直流电阻。连续测量 48 h,每次至少读取四位数字,并记下温度计指示的温度及测量时刻。

根据每次测量的电阻、温度值绘制温度和电阻随时间的变化曲线。分别从两条曲线上求出平均温度 $\bar{t}$ 及平均电阻 $\bar{R}$,并按式(56)计算 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时测温线的电阻 R_{20} 。

$$R_{20} = \frac{\bar{R}}{1 + 0.00393 \times (\bar{t} - 20)} \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

R_{20} —— $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时测温线的电阻,单位为欧姆(Ω);

$\bar{R}$ —— 平均电阻,单位为欧姆(Ω);

$\bar{t}$ —— 平均温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

2) 测温电缆法:

在进行定期测试或大量测试的情况下应采用此法。

取一盘与被测电缆的型号、规格相同,长度基本接近,并绕在同样电缆盘上的电缆作为测温电缆,按测温线法规定测量该电缆中测温线的电阻 R_{20} 。

将测温电缆和试样电缆尽可能靠近放置至少 6 h。

测量测温电缆中测温线电阻和试样电缆中测温线电阻。将测温电缆中测温线的电阻和温度的关系移植到试样电缆的测温线上,测量和移植应在不同时间内进行多次,直至互相符合后才能被采用。

- c) 在测量衰减常数的环境温度下,测量试样电缆同一护套内的测温线直流电阻 R_t 。

- d) 按式(57)计算试样同轴对的实际温度:

$$t_x = 20 + \frac{1}{0.00393} \times \left(\frac{R_t}{R_{20}} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (57)$$

式中:

t_x —— 试样同轴对的实际温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

R_t —— 测温线直流电阻,单位为欧姆(Ω);

R_{20} —— $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时测温线的电阻,单位为欧姆(Ω)。

5.6.2.2.4.7 测量试样同轴对的衰减

用串联比较法测量试样同轴对的衰减步骤如下:

- a) 将被测同轴对接入图 28 测试系统,将同轴开关置于 II 支路上,调节电平振荡器至所需测试频

率,使输出电平为 0 dB 或 -10 dB;

- b) 估计在最高测试频率时被测同轴对的衰减,将衰减器放在略大于此值的位置上,该数值作为起始衰减 A_0 ;
- c) 用选频电平表选频。调节输入衰减器,使表头指针指在 0 dB 附近,必要时可调节电平表灵敏度细调;
- d) 调节可变分压器,使数字电压表显示五位数字,读取该数字,并记作 V_{II} ;
- e) 将同轴开关置于 I 支路上。分压器不动,减小可变衰减器的衰减值,直至选频电平表的表头指于 0 dB 附近,使数字电压表显示的数字与 V_{II} 接近,读取可变衰减器的读数为 A_I 和数字电压表的读数为 V_I ;
- f) 将可变衰减器重新调回至起始衰减 A_0 ,然后将同轴开关置于 II 支路上,此时数字电压表显示的值应回到 V_{II} 。允许数字的差值相当于 1×10^{-3} dB,如果差值超过此值,应重新进行测试。

用并联比较法测量试样同轴对的衰减步骤如下:

- a) 将被测同轴对接入图 29 测试系统,将同轴开关置于 I 支路上,调节振荡器至所需测试频率,使输出电平为 0 dB 或 -10 dB;
- b) 用选频电平表选频。调节输入衰减器,使表头指针指在 0 dB 附近,必要时可调节电平表的灵敏度细调;
- c) 调节可变分压器,使数字电压表显示五位数字,读取该数字记作 V_I ;
- d) 将可变衰减器调节至接近被测同轴对衰减值的档位上,然后将同轴开关置于 II 支路上。进一步调节衰减器的衰减值,使选频电平表的表头指针指于 0 dB 附近,数字电压表显示的数字与 V_I 接近,读取可变衰减器的读数 A_{II} 和数字电压表读数 V_{II} ;
- e) 将同轴开关置于 I 支路。此时数字电压表显示的值应回到 V_I 。允许数字的差值相当于 1×10^{-3} dB,如果差值超过此值,应重新进行测试。

用串并联比较法测量试样同轴对的衰减步骤如下:

- a) 将被测同轴对接入图 30 测试系统,将同轴开关置于 II 支路上,调节振荡器至所需测试频率,使输出电平为 0 dB 或 -10 dB;
- b) 将 II 支路上的可变衰减器置于与测试系统衰减器相同的位置上;
- c) 用选频电平表选频。调节输入衰减器,使表头指针指在 0 dB 附近,必要时可调节电平表灵敏度细调;
- d) 调节可变分压器,使数字电压表显示五位数字,读取该数字,并记作 V_{II} ;
- e) 将同轴开关 S 置于 I 支路上,调节可变衰减器 A,使数字电压表显示的数字与 V_{II} 接近,读取可变衰减器的读数为 A_I 和数字电压表读数为 V_I ;
- f) 将同轴开关 S 置于 II 支路上,此时数字电压表应回到 V_{II} 。允许数字的差值相当于 1×10^{-3} dB,如差值超过此值,应重新进行测试。

5.6.2.2.5 测试结果及计算

5.6.2.2.5.1 被测同轴对衰减值 A_x 应分别按不同的接线型式计算:

- a) 采用串联比较法时 A_x 按式(58)计算。

$$A_x = [(A_0 + \Delta A_0) - (A_I + \Delta A_I)] + A_V - A_Y \quad \dots\dots\dots (58)$$

式中:

A_x ——衰减值,单位为分贝(dB);

A_0 ——起始衰减,单位为分贝(dB);

ΔA_0 —— A_0 的修正值,单位为分贝(dB);

A_I ——同轴开关置于 I 支路时可变衰减器的读数,单位为分贝(dB);

ΔA_I —— A_I 的修正值,单位为分贝(dB);

A_y ——系统修正值,按式(53)计算,单位为分贝(dB);

A_v ——尾数修正值,按式(59)计算,单位为分贝(dB)。

$$A_v = 20 \lg \frac{V_{II}}{V_I} \quad \dots\dots\dots (59)$$

式中:

V_I ——同轴开关置于 I 支路时,数字电压表上读取的电压值,单位为伏特(V);

V_{II} ——同轴开关置于 II 支路时,数字电压表上读取的电压值,单位为伏特(V)。

b) 采用并联比较法时 A_x 按式(60)计算。

$$A_x = A_{II} + \Delta A_{II} + A_v - A_y \quad \dots\dots\dots (60)$$

式中:

A_x ——衰减值,单位为分贝(dB);

A_{II} ——可变衰减器读数,单位为分贝(dB);

ΔA_{II} ——衰减器读数的修正值,单位为分贝(dB);

A_y ——系统修正值,按式(54)计算,单位为分贝(dB);

A_v ——尾数修正值,按式(59)计算,单位为分贝(dB)。

c) 采用串并联比较法时 A_x 按式(61)计算。

$$A_x = A_y - (A_I + \Delta A_I) + A_v \quad \dots\dots\dots (61)$$

式中:

A_x ——衰减值,单位为分贝(dB);

A_I ——同轴开关置于 I 支路时,可变衰减器(A'')的读数,单位为分贝(dB);

ΔA_I —— A_I 的修正值,单位为分贝(dB);

A_y ——系统修正值,按式(55)计算,单位为分贝(dB);

A_v ——同轴开关置于 I 支路时,尾数修正值,按式(59)计算,单位为分贝(dB)。

5.6.2.2.5.2 被测同轴对在测试环境温度下的衰减常数 α_t 按式(62)计算。

$$\alpha_t = A_x \times \frac{1\,000}{L} \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

α_t ——衰减常数,单位为分贝每千米(dB/km);

A_x —— L 长度被测同轴对的衰减实测值,单位为分贝(dB);

L ——扣除 100 mm 短接同轴对长度后,被测同轴对的长度,单位为米(m)。

5.6.2.2.5.3 标准温度下的衰减常数 α_T 按式(63)计算。

$$\alpha_T = \frac{\alpha_t}{1 + K_T(t - T)} \quad \dots\dots\dots (63)$$

式中:

α_T ——衰减常数,单位为分贝每千米(dB/km);

T ——标准温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

t ——测试时同轴对的温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

K_T ——标准温度 T 时同轴对的衰减温度系数。

5.6.2.2.5.4 换算到标准温度的各频率的 α_t 值应采用最小二乘法回归出以式(64)、式(65)表示的衰减频率特性。

$$\alpha_t = A\sqrt{f} + Bf + C \quad \dots\dots\dots (64)$$

$$C = 0.5429 \times \frac{R_0}{Z_\infty} \times \left[2(1 - e^{-2g}) - \frac{(1 + e^{-g})^2}{g} \right] \quad \text{.....(65)}$$

式中:

α_i ——衰减常数,单位为分贝每千米(dB/km);

C ——最小二乘法常数项,单位为分贝每千米(dB/km);

R_0 ——标准温度下内导体的直流电阻,单位为欧姆(Ω);

$e^{-g} = d/D$ ——内导体外径 d 与外导体内径 D 之比;

$Z_\infty = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d}$ ——被测同轴对在频率无穷大时的波阻抗,单位为欧姆(Ω).

R_0, e^{-g}, ϵ_r 应按 5.8 进行取值。

$$A = a + \xi_a \times C \text{ dB}/(\text{km} \times \sqrt{\text{MHz}}) \quad \text{.....(66)}$$

$$B = b + \xi_b \times C \text{ dB}/(\text{km} \times \text{MHz}) \quad \text{.....(67)}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\sqrt{f_i}} \sum_{i=1}^n f_i - \sum_{i=1}^n \sqrt{f_i} \sum_{i=1}^n a_i}{\Delta} \text{ dB}/(\text{km} \times \sqrt{\text{MHz}}) \quad \text{.....(68)}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\sqrt{f_i}} \sum_{i=1}^n \sqrt{f_i}}{\Delta} \text{ dB}/(\text{km} \times \text{MHz}) \quad \text{.....(69)}$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n f_i - \left(\sum_{i=1}^n \sqrt{f_i} \right)^2 \text{ MHz} \quad \text{.....(70)}$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_a &= \frac{n \sum_{i=1}^n \sqrt{f_i} - \sum_{i=1}^n f_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i}}{\Delta} \frac{1}{\sqrt{\text{MHz}}} \\ \xi_b &= \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{f_i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{f_i}} - n^2}{\Delta} \frac{1}{\text{MHz}} \end{aligned} \right\} \quad \text{.....(71)}$$

式中:

$i=1, 2, \dots, n$, 即测试频率的序数。

5.6.2.2.6 其他技术要求

5.6.2.2.6.1 为计算方便式(59)中 A_v 可采用式(72)计算。

$$A_v = \frac{1}{n} \times (V_I - V_{II}) \times 10 \quad \text{.....(72)}$$

式中:

V_I ——同轴开关置于 I 支路时数字电压表上读取的电压值,单位为伏特(V);

V_{II} ——同轴开关置于 II 支路时数字电压表上读取的电压值,单位为伏特(V);

n ——数字电压表读数为 0.868 0 V~0.869 2 V 的倍值数,为 2 或 1/2。

测试时要求数字电压表读数在 0.863 0 V~0.873 0 V 的 2 或 1/2 倍值范围内。

5.6.2.2.6.2 用式(64)表示被测同轴对的衰减频率特性,只适用于 f_A 频率以上频段,否则计算结果将有显著误差。除非另有规定,不同规格同轴对的 f_A 值为:

$$2.6/9.5 \text{ mm 同轴对 } f_A = 2.5 \text{ MHz} \quad \text{.....(73)}$$

$$1.2/4.4 \text{ mm 同轴对 } f_A = 4 \text{ MHz} \quad \text{.....(74)}$$

5.6.2.2.6.3 对于阻抗非 75 Ω 的通信电缆采用此方法进行测试时,应在被测物两侧加阻抗变量器,相应

地在测试系统修正值时应在接入阻抗变量器的状态下进行测试。

5.6.2.2.6.4 当对较低频率(如 1.2/4.4 mm 小同轴 0.2 MHz 以下)较短试样进行衰减测试时,由于阻抗失配引起衰减测试误差,这时可采用式(75)对误差进行估计,并对测试数据进行修正。

$$\Delta = 8.6859 \times \left[m_1 \times m_2 \times \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{1}{2} (m_1 \times m_2)^2 \right] \dots\dots\dots (75)$$

$$m_1 \angle \varphi_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_c}{Z_0} + \frac{Z_0}{Z_c} \right) - 1 \dots\dots\dots (76)$$

$$m_2 \angle \varphi_2 = \frac{1}{2} (1 - e^{-2\alpha l}) \dots\dots\dots (77)$$

式中:

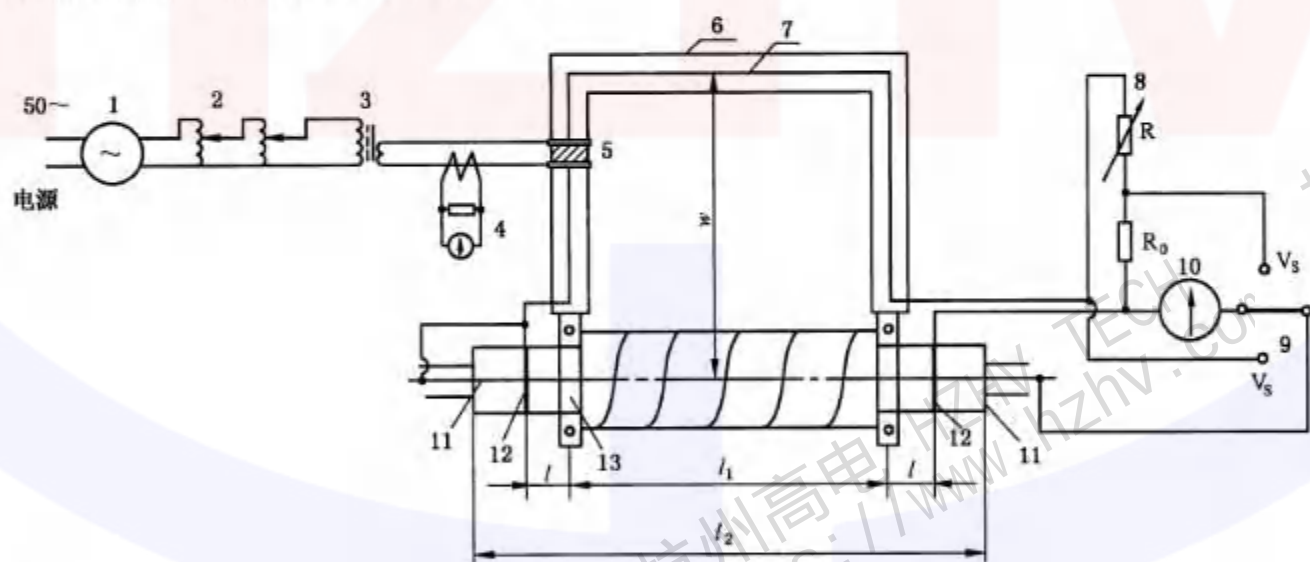
- Δ —— 衰减测试误差,单位为分贝(dB);
 Z_c —— 在测试频率下试样的输入阻抗(复数),单位为欧姆(Ω);
 Z_0 —— 测试系统阻抗,通常为 75 Ω ;
 $\gamma = \alpha + j\beta$ —— 试样的传播常数;
 α —— 衰减常数,可取标准温度时的标称值,单位为奈培每千米(Np/km);
 β —— 相移常数,可取标准温度时的标称值,单位为弧度每千米(rad/km)。

5.7 理想屏蔽系数试验

5.7.1 试验设备

5.7.1.1 测试系统原理图

理想屏蔽系数测试系统原理图见图 35。



说明:

- | | |
|-------------------|---|
| 1 —— 交流稳压器; | 9 —— 切换开关; |
| 2 —— 调压器(2只); | 10 —— 交流电压测试装置; |
| 3 —— 大电流变压器(升流器); | 11 —— 试样电缆; |
| 4 —— 试样金属套电流测量装置; | 12 —— 电压环; |
| 5 —— 绝缘块; | 13 —— 电流环; |
| 6 —— 大电流框架回路; | w —— 试样与大电流框架的中心距,固定为 400 mm; |
| 7 —— 试样金属套电压测量线; | $l_1 = 1\,000\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$; $l_2 = 1\,200\text{ mm}$; $l =$ |
| 8 —— 电阻分压器; | 20 mm。 |

图 35 理想屏蔽系数测试系统原理图

5.7.1.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求:

- a) 测试频率满足 50 Hz~800 Hz 范围。
- b) 交流稳压器:电压为 220 V;容量为 3 kVA~5 kVA;稳定度应不超过±1%。
- c) 调压器:电压为 250 V;容量为 2 kVA~4 kVA。
- d) 升流器:升流器最大输出电压应不小于 4 V;容量应不小于 3 kVA;输出波形(包括调压器、升流器)要求所有瞬间值与同相位正弦波基波值的偏差应不超过正弦波基波峰值的 10%。
- e) 电流测量装置:电流互感器为 500/5 A,0.5 级;标准无感电阻为 0.1 Ω,0.1 级;毫伏表最小量程为 1 mV。
- f) 电阻分压器:测量电阻 $R_0=100\ \Omega$;可变电阻箱的可变范围应为:
(0~10)×(0.01+0.1+1+10+100+1 000) Ω
- g) 交流电压测量装置:交流电压测量装置最小分辨率应不大于 0.01 mV。

注:“交流电压测量装置”可以采用交流数字电压表、选频电平表等进行读取,可以采用交直流转换器和直流电压表读取,也可以采用具有更高精度的测试设备。

- h) 电流环:电流环由镀银黄铜或紫铜制成,表面质量应确保接触良好。
- i) 大电流回路:大电流回路呈长方形框架,一边为试样金属套,另三边可由外半径为 r 、壁厚不小于 3 mm 的圆铜管构成(也允许用实芯铜)。图 35 中距离 w 为 400 mm。由电流框架与试样构成的测量回路的电感应应在 $(2\pm 0.1)\ \mu\text{H}$ 以内。对于一台可适用于非常大电流的测量装置,框架的另三边可以采用两条平行扁铜排的形式。两条铜排之间的距离大约等于其厚度。空心圆铜管半径 r 的选择,可根据 $L=2\ \mu\text{H}$ 及试样金属套外径 D ,按式(78)计算:

$$\ln r = \frac{16.34 - \ln D - \frac{L \times 10^7}{2}}{1.8} \dots\dots\dots (78)$$

式中:

- D ——试样金属套外径,单位为毫米(mm);
- r ——框架圆铜管外半径,单位为毫米(mm);
- L ——测试回路的电感,单位为亨(H)。

- j) 电压测量线:电压测量线应采用导体直径小于 0.5 mm 的绝缘线,如图 35 所示沿大电流框架表面平行放置。对于由两条平行扁铜排构成的大电流框架,可以放在铜排之间。

5.7.2 试样准备

5.7.2.1 从被试电缆上取样长 $1\ 400\ \text{mm} \pm 20\ \text{mm}$ 。

5.7.2.2 根据 $l_1=1\ 000\ \text{mm} \pm 5\ \text{mm}$ 的要求,去除试样两端铠装层外的外套或外被层。根据 l_1 的长度和电流环的宽度,去除试样两端铠装层及衬层,裸露出金属套。

5.7.2.3 从缆芯中选定连接感应电压测量线的导体,该导体应尽可能接近缆芯中心。被选定的导体其两端应去除绝缘层,在电流环的外侧(如图 35 所示)用细铜线缠绕数圈扎紧在金属套上,制成电压环,并与电压测量线和选定的电缆芯导体连接。电压环与电流环的中心距 l 为 20 mm。

5.7.2.4 试样两端安装电流环处,应以适当方法确保铠装层与金属套间接触良好。电缆试样如果有多层金属套,应以适当方法将所有金属套连接在一起且接触良好。

5.7.3 试验步骤

5.7.3.1 按图 35 检查测试系统的连接和各部分尺寸。

5.7.3.2 检查各连接部分,接触应良好,特别是电流测试回路的连接部分,如电流环与试样的连接、试样的铠装层与金属套的连接等。

5.7.3.3 检查调压器的调压旋钮,应在起始“零”位置上。

5.7.3.4 将 50 Hz~800 Hz 变频电源接入测试系统,并接通所有测试仪表的电源,预热 15 min,然后进行下列带电检查:

- a) 用示波器观察升流器输出波形,应确保为无明显失真的正弦波形;
- b) 在正式测试前,略微升高调压器的输出电压,使试样的金属套中流过小量的电流。观察交流电压测量装置的读数显示是否稳定。如读数显示不稳定应找出原因,检查系统中各部分,特别应注意检查电流回路中各部分接触是否良好。应在故障消除后再进行正式测试。

5.7.3.5 将切换开关先设定在 V_s 位置,然后转换到 V_c 位置,分别读出并记录试样金属套的电压 V_s 与芯线上的感应电压 V_c 。

5.7.4 试验结果及计算

5.7.4.1 试验结果按式(79)计算。

$$v_{0s} = \frac{V_c}{V_s} \quad \dots\dots\dots (79)$$

式中:

v_{0s} ——电缆试样金属套上干扰电压为 V_s 时的理想屏蔽系数;

V_c ——线芯上的感应电压,单位为毫伏(mV);

V_s ——电缆试样金属套上的纵向干扰电压,单位为毫伏(mV)。

5.7.4.2 当金属套上流过大电流(几百安培)时,由于发热使护套的阻值增加。此时,由式(79)计算的理想屏蔽系数应按式(80)进行修正。

$$v_{02} = \frac{R_{01} v_{0s}}{\sqrt{R_{02}^2 - (R_{02}^2 - R_{01}^2) v_{0s}^2}} \approx \frac{R_{01}}{R_{02}} v_{0s} \quad \dots\dots\dots (80)$$

式中:

v_{02} ——流过大电流 I_2 时经过修正后的理想屏蔽系数;

R_{01} ——小电流 I_1 时金属套的直流电阻($\approx \frac{V_{c1}}{I_1}$),单位为欧姆(Ω);

R_{02} ——大电流 I_2 时金属套的直流电阻($\approx \frac{V_{c2}}{I_2}$),单位为欧姆(Ω);

v_{0s} ——大电流 I_2 时,按式(79)计算所得的理想屏蔽系数;

V_{c1} ——小电流 I_1 时线芯的感应电压,单位为毫伏(mV);

V_{c2} ——大电流 I_2 时线芯的感应电压,单位为毫伏(mV)。

5.7.5 其他技术要求

5.7.5.1 电流框架的电流进线和测量电压的引出线应尽可能短,且电流的进线之间和测量电压的引出线之间应尽可能地靠近和绞合在一起,同时通大电流的导线应尽可能远离测量小电压的导线。

5.7.5.2 测试中当怀疑交流电压测量装置读数不准时,可以用电阻分压器测量屏蔽系数,以与交流电压测量装置测试结果进行对比,此时,开关应先放在 V_c 位置,然后转换到 V'_c 位置,调节标准可变电阻箱,使交流电压测量装置的 V_c 与 V'_c 读数相等,读取标准可变电阻箱 R 的读数,这时理想屏蔽系数值按式(81)计算。

$$v_{0s} = \frac{R_0}{R + R_0} \quad \dots\dots\dots (81)$$

式中：

R ——标准可变电阻箱读数,单位为欧姆(Ω)；

R_0 ——100 Ω 固定测量膜电阻,单位为欧姆(Ω)。

5.7.5.3 对铠装钢带电缆进行测试时,为防止残磁影响,每次测量前应预先对试样进行退磁,即逐步增加电缆金属套上的电流直至最大的测试电流值,然后在数秒钟内将电流再均匀地降至零。在测试时,电流的调节应从小到大单方向地增加。

5.7.5.4 由于金属护套的电阻很小(特别是铝护套),为了得到大的护套电压,需通过很大电流(数百安培)。因此应快速测试,以免金属发热电阻增加,产生测试误差。

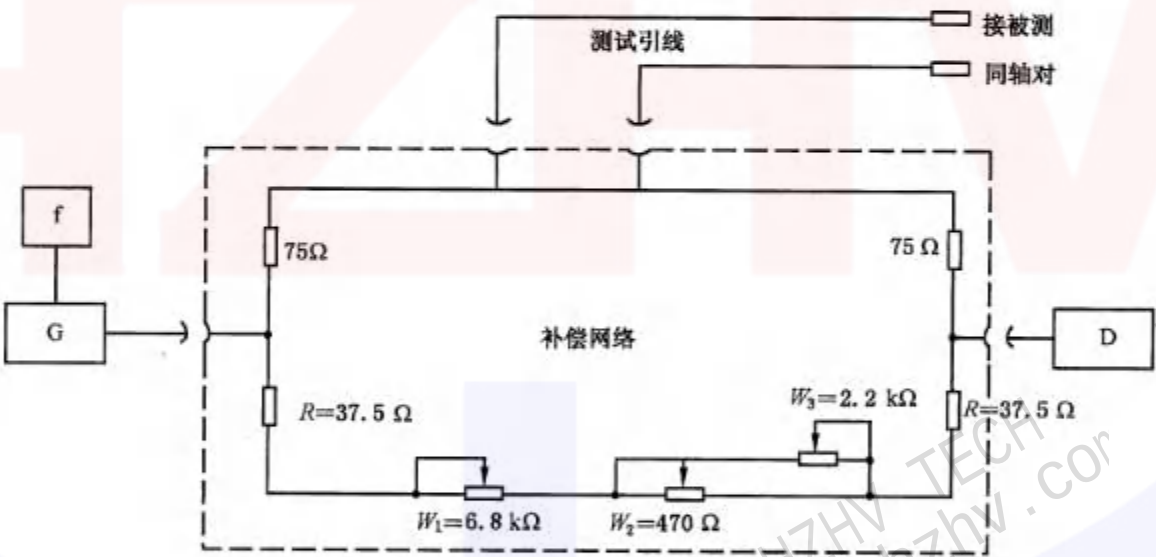
5.7.5.5 当对测试结果产生争议时,应以铠装层与金属套焊接的试样为准。

5.8 同轴对展开长度测量 正弦波法

5.8.1 试验设备

5.8.1.1 测试系统原理图

测试系统原理图见图 36 和图 37。



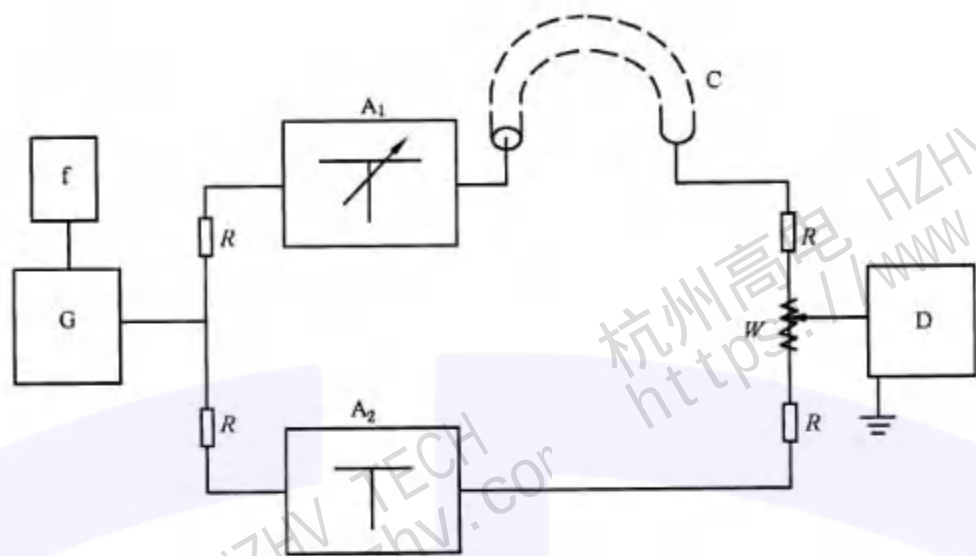
说明：

G ——振荡器；

D ——选频电平表；

f ——数字频率计。

图 36 补偿法测试谐振频率测试系统原理图



说明：
G —— 振荡器；
D —— 选频电平表；
f —— 数字频率计；
C —— 被测同轴对；
R —— $(74 \pm 2) \Omega$ ；
W —— 100Ω 的无感电位器；
A₁、A₂ —— 两只型号规格相同的可变衰减箱，A₂ 做固定衰减器用。

图 37 补偿法测试系统原理图

5.8.1.2 测试仪器

测试仪器应符合下列要求：

- 振荡器：输出阻抗为 75Ω ，对 75Ω 电阻的失配衰减（包括引线）应不低于 32 dB，并能以 0.1 MHz 或更小步级锁定频率。频率稳定度应不超过 $(1 \times 10^{-3} \pm 10) \text{ Hz}$ ；
- 选频电平表：输出阻抗为 75Ω ，对 75Ω 阻抗的失配衰减（包括引线）应不低于 32 dB；
- 数字频率计：应有滤波装置，能显示五位数字，频率稳定度应不超过 $\pm 1.5 \times 10^{-7} / 24 \text{ h}$ ；
- 高频阻抗（导纳）电桥：无补偿网络时，可用精度为 2% 的高频阻抗（导纳）电桥代替。此时测试系统原理图见图 37；
- 补偿网络：元件和原理图见图 36，整个网络应良好屏蔽；
- 测试引线：阻抗应与被测同轴对相同，测试多根同结构同轴对时，应采用同一测试引线。

5.8.2 试样准备

试样为制造长度的成品电缆，可以是单根或数根同轴对连接。

5.8.3 试验步骤

5.8.3.1 精密丈量

取 4~5 根成品电缆，摊平，用计量过的钢卷尺丈量，每次丈量长度应不小于 30 m，测量误差应不大于 1×10^{-4} 。用测量结果和同轴对绞合常数计算出电缆中同轴对展开长度。

同轴对的绞合常数和同轴对展开长度分别按式(82)和式(83)计算。

$$\lambda = \sqrt{1 + \left(\frac{\pi D_0}{H} \right)^2} \dots\dots\dots (82)$$

$$l = l_m \lambda \quad \dots\dots\dots (83)$$

式中:

- l ——同轴对的展开长度,单位为千米(km);
 l_m ——电缆的丈量长度,单位为千米(km);
 D_0 ——同轴对所在缆芯层的平均直径,单位为毫米(mm);
 H ——同轴对的绞合节距,单位为毫米(mm);
 λ ——同轴对的绞合常数。

5.8.3.2 计算参数 f'_∞ 及 B'_0

5.8.3.2.1 按 GB/T 3048.4 规定,测量各试样同轴对内导体的直流电阻,计算平均值,并换算在 +20 ℃ 时每公里的平均值 $\overline{R_0}$ 。

5.8.3.2.2 按下列方法计算同轴对内外导体直径比 D/d 值和等效相对介电常数 ϵ_r 值:

a) 方法一

- 1) 根据设计要求和工艺参数估计同轴对的 D/d 值,然后将端阻抗的实测平均值 Z_c 和内导体直流电阻的平均值 $\overline{R_0}$ 代入式(84)估算同轴对的等效相对介电常数 ϵ_r 的估计值。

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \ln \frac{D}{d} \times \left[1 + \frac{1}{80} \sqrt{\frac{\overline{R_0}}{\pi}} \times \frac{1}{\sqrt{f}} \times \frac{1 + \frac{d}{D}}{\ln \frac{D}{d}} \right] \quad \dots\dots\dots (84)$$

式中:

- Z_c ——同轴对特性阻抗实部平均值的平均值(当同轴对不均匀性小于 3‰ 时,也可以用脉冲法测得的端阻抗实测值的平均值代替),单位为欧姆(Ω);
 D ——同轴对外导体内径,单位为毫米(mm);
 d ——同轴对内导体外径,单位为毫米(mm);
 ϵ_r ——同轴对等效的相对介电常数;
 f ——产品标准中规定的特性阻抗频率值。1.2/4.4 mm 型同轴对, $f = 1$ MHz; 2.6/9.5 mm 型同轴对, $f = 2.5$ MHz。

- 2) 将 D/d 及 ϵ_r 值代入式(85)和式(86)计算参数 f'_∞ 及 B'_0 。 f'_∞ 计算结果取五位有效数字, B'_0 取四位有效数字。

$$f'_\infty = \frac{3}{40 \sqrt{\epsilon_r}} \quad \dots\dots\dots (85)$$

$$B'_0 = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\epsilon_r}{30\pi}} \cdot \frac{1 + \frac{d}{D}}{\ln \frac{D}{d}} \quad \dots\dots\dots (86)$$

式中:

- f'_∞ ——参数,单位为兆赫兹千米(MHz · km);
 B'_0 ——单位为根号下欧姆($\sqrt{\Omega}$);
 D ——同轴对外导体内径,单位为毫米(mm);
 d ——同轴对内导体外径,单位为毫米(mm);
 ϵ_r ——同轴对等效的相对介电常数。

b) 方法二

- 1) 按 5.1 规定,精密测量各同轴对的工作电容,计算平均值,并换算每公里的工作电容平均

值 $\overline{C}_0$;

- 2) 按 5.4 规定,测量各同轴对特性阻抗实部平均值,并计算各同轴对特性阻抗实部平均值的平均值 $\overline{Z}_c$ 。当同轴对的阻抗不均匀性小于 3‰时,也可以用脉冲法测得的端阻抗的平均值代替;
- 3) 将 $\overline{R}_0$ 、 $\overline{C}_0$ 、 $\overline{Z}_c$ 代入式(87):

$$A \times \ln \chi + B \left(1 + \frac{1}{\chi}\right) - \overline{Z}_c \times \sqrt{\ln \chi} = 0 \quad \text{.....(87)}$$

式中:

$$A = \frac{20}{\sqrt{2 \overline{C}_0 \cdot 10^{-3}}} \quad \text{.....(88)}$$

$$B = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{10^3 R_0}{2\pi \overline{C}_0 f}} \quad \text{.....(89)}$$

$$\chi = \frac{D}{d} \quad \text{.....(90)}$$

根据式(87)计算 D/d ,并代入式(91)计算 ϵ_r 。

$$\epsilon_r = 18 \times 10^{-3} \times \overline{C}_0 \times \ln \frac{D}{d} \quad \text{.....(91)}$$

式中:

- $\overline{Z}_c$ ——特性阻抗实部平均值的平均值,单位为欧姆(Ω);
- $\overline{C}_0$ ——同轴对工作电容平均值,单位为纳法每千米(nF/km);
- R_0 ——20 ℃时内导体直流电阻平均值,单位为欧姆每千米(Ω/km);
- f ——2.6/9.5 mm 同轴对为 2.5 MHz;1.2/4.4 mm 同轴对为 1 MHz。

- 4) 将 D/d 、 ϵ_r 值代入式(85)和式(86)计算 f'_∞ 及 B'_0 值。

5.8.3.3 测量被测同轴对的谐振频率

5.8.3.3.1 按式(92)估算谐振频率。

$$f_n = \frac{n}{4Z_c C_0(l)} \quad \text{.....(92)}$$

式中:

- f_n ——谐振频率,单位为兆赫兹(MHz);
- Z_c ——同轴对特性阻抗实部,可以取理论值,单位为欧姆(Ω);
- $C_0(l)$ ——测试长度同轴对工作电容,可以取理论值,单位为纳法(nF);
- n ——谐振序号,取 2、6、10、14……。

5.8.3.3.2 按图 36 接好测试系统,检查无误后接通电源,预热仪器达到稳定。

5.8.3.3.3 接上经精密丈量过的同轴对进行测试。从低频开始,在调整振荡器输出频率的同时,用选频电平表跟踪选频,在序号 n 为 2、6、10、14……的频率点上,选频电平表的指示出现最低点。选择高于表 9 中规定的频率进行测试。

表 9 测试频率

序号	规格	频率
1	1.2/2.4 mm 同轴对	1 MHz
2	2.6/9.5 mm 同轴对	0.25 MHz

适当调整补偿网络的电位器,使最低点的电平降低,反复调节频率的补偿电位器,使选频电平表指示最低(一般可达-100 dB左右)。从频率计上读取频率 f_n ,并记录序号。

5.8.3.4 测量被测同轴对内导体的直流电阻

经测量计算被测同轴对内导体的直流电阻 $R_0(l)$ 。

5.8.3.5 计算数值 f_∞ 和 B_0

5.8.3.5.1 按式(93)计算经精密丈量的被测同轴对的展开长度 l ,并计算该试样中各同轴对的长度平均值 $\bar{l}$ 。

$$l = n \times \left(\frac{f'_\infty}{f_n} \right) \left(1 - B'_0 \times \sqrt{\frac{R_0(l)}{n}} + \frac{1}{2} \times B_0'^2 \times \frac{R_0(l)}{n} \right) \dots\dots\dots (93)$$

式中:

- f_n —— 谐振频率,单位为兆赫兹(MHz);
- f'_∞ —— 按式(85)计算参数,计算结果取五位有效数字;
- B'_0 —— 按式(86)计算参数,计算结果取四位有效数字;
- $R_0(l)$ —— 被测同轴对内导体的直流电阻,单位为欧姆(Ω);
- n —— 谐振序号,取2、6、10、14……。

5.8.3.5.2 计算 $\bar{l}$ 与5.1精密丈量展开长度的百分数误差和4~5根精密丈量电缆的总的百分数误差。用此总的百分数误差修正 f'_∞ 值,计算 f_∞ 值;然后用 f_∞ 值计算 ϵ_r 值、 B_0 值。如果算出的 B_0 值与 B'_0 值不一致,则应以 B_0 值重新代入式(93)进行计算。

5.8.4 试验结果及计算

5.8.4.1 试验结果按式(94)计算。

$$l_x = l_{xy} - l_y \dots\dots\dots (94)$$

式中:

- l_{xy} —— 包括测试引线电气长度在内的被测同轴对的展开长度,单位为米(m);
- l_y —— 测试引线的电气长度,单位为米(m);
- l_x —— 被测同轴对展开长度,单位为米(m)。

5.8.4.2 l_{xy} 按式(95)计算。

$$l_{xy} = n \left(\frac{f'_\infty}{f_n} \right) \left(1 - B_0 \sqrt{\frac{R_0}{n}} + \frac{1}{2} B_0^2 \frac{R_0 l}{n} \right) \dots\dots\dots (95)$$

式中:

- f_n —— 谐振频率,单位为兆赫兹(MHz);
- f'_∞ —— 按式(85)计算参数,计算结果取五位有效数字;
- $R_0(l)$ —— 被测同轴对内导体的直流电阻,单位为欧姆(Ω);
- n —— 谐振序号,取2、6、10、14……。

5.8.4.3 l_y 按式(96)计算。

$$l_y = l_{xA} + l_{xB} - l_{AB} + l_w \dots\dots\dots (96)$$

式中:

- l_{xA}, l_{xB} —— 包括同一引线电气长度在内的被测同轴对A、B的展开长度,单位为米(m);
- l_{AB} —— A、B同轴对环接展开长度,单位为米(m);
- l_w —— 环接用同轴对的长度,单位为米(m)(环接用同轴对的结构与被测同轴对相同)。

当试样同轴对的长度不一致时, l_y 应取较短试样同轴对的测量值。

5.8.5 其他技术要求

5.8.5.1 当无补偿网络,采用高频阻抗(导纳)电桥测试谐振频率 f_r 时,5.8.3.3.2及5.8.3.3.3步骤应按5.4要求进行。

5.8.5.2 当制造同轴对的工艺、结构或材料改变时,应重复5.8.3.1及5.8.3.2步骤。

杭州高电 HZHV TECH
<https://www.hzhv.com>

杭州高电 HZHV TECH
<https://www.hzhv.com>

杭州高电 HZHV TECH
<https://www.hzhv.com>



中华人民共和国
国家标准
通信电缆试验方法
GB/T 5441—2016

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

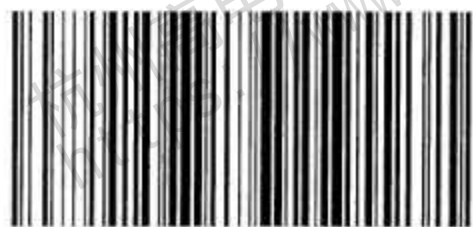
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

开本 880×1230 1/16 印张 3.75 字数 106 千字
2016年6月第一版 2016年6月第一次印刷

书号: 155066·1-54453 定价 51.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 5441-2016