

降低射频同轴电缆组件电压驻波比的方法

张东峰, 汶迎春

(陕西凌云电器集团有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

摘 要: 为解决由于射频同轴电缆组件电压驻波比大引起的放大器自激问题, 对影响电缆组件电压驻波比的因素进行了分析。通过电缆组件电压驻波比的计算公式, 阐述了电缆剥头尺寸和组件焊接方法在电缆组件装接过程中的重要性, 提出了降低组件电压驻波比的方法。通过对电缆剥头尺寸、组件焊接和测试方法的改进, 降低了驻波比。经实际测试和应用, 组件满足使用要求, 消除了自激现象。

关键词: 射频同轴电缆组件; 电压驻波比; 特性阻抗

中图分类号: TM248 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3474 (2012) 06-0373-03

Methods of Reducing Voltage Standing Wave Ratio of RF Coaxial Cable Subassembly

ZNANG Dong-feng, WEN Ying-chun

(Shaanxi Lingyun Electronics Group CO., LTD., Baoji, 721006, China)

Abstract: In order to solve the amplifier self-excitation problem caused by larger voltage standing wave ratio (VSWR) of RF coaxial cable subassembly, analyze the factors affect the cable subassembly VSWR. Discuss the importance of cable peeled terminal size and subassembly soldering method in cable subassembly assembly, further get the methods of reducing subassembly VSWR. After improving cable peeled terminal size, subassembly soldering method and test method, the VSWR is reduced. Through test and appliance in practice, the subassembly can meet the appliance requirement and its self-excitation is avoided.

Key words: RF coaxial cable subassembly; Voltage standing wave ratio; Characteristic impedance

Document Code: A **Article ID:** 1001-3474(2012)06-0373-03

随着电子产品的频率日益提高, 对提供信号通路的射频同轴电缆的电压驻波比和传输损耗指标要求也越来越高, 对电缆组件的加工工艺提出了更高的要求。电缆组件各组成部分的特性阻抗及其连接部位特性阻抗的连续性是决定组件电性能的关键因素。电压驻波比是电缆组件特性阻抗连续程度和反射大小的反映, 是衡量该组件是否与系统阻抗匹配以及阻抗匹配程度的重要指标。因此, 电缆组件的电压驻波比性能的好坏, 直接影响到系统的性能。

某电缆组件所用连接器由插孔、绝缘套、壳体 and 盖组装而成, 电缆为半柔性电缆, 应用在950 MHz ~ 1 230 MHz频率范围内, 电缆芯线和屏蔽层均采用焊接方式连接, 在接收机调试时容易引起放大器自激, 导致灵敏度下降。为解决这一问题, 对降

低电缆组件电压驻波比的方法进行了研究。

1 电缆组件的电压驻波比

电缆组件由连接器和电缆两部分组成, 每部分的特性阻抗和它们之间的相互连接决定了电缆组件的特性阻抗, 进而影响组件的驻波比^[1]。

特性阻抗是传输线上入射波电压 $U_i(z)$ 与入射波电流 $I_i(z)$ 之比, 即

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_1 + j\omega L_1}{G_1 + j\omega C_1}} \quad (1)$$

式中: R_1 为传输线的分布电阻; G_1 为传输线的分布电导; ω 为传输线角频率; L_1 为传输线的分布电感; C_1 为传输线的分布电容。

假定电缆是无耗的, 即导体是理想的, 填充介

作者简介: 张东峰 (1976-), 男, 工程师, 主要从事天线设计与测试工作。

质为无损介质, 对于无耗传输线 ($R_1=0$, $G_1=0$), 则

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \quad (2)$$

式中: $L_1 = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{d}{D}$, $C_1 = \frac{2\pi \epsilon_1}{\ln \frac{d}{D}}$

μ 为导磁率; d 为外导体内径; D 为内导体外径; ϵ_1 为介电常数。

1.1 同轴电缆的特性阻抗

同轴电缆是TEM波传输线的一种, 其特性阻抗 Z_0 由外导体内径 d 和内导体外径 D 的比值以及介质材料的相对介电常数 ϵ_r 决定, 如图1所示, 介质材料为聚四氟乙烯 (PTFE), 相对介电常数为2.1。公式如下:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \ln \frac{d}{D} \quad (3)$$

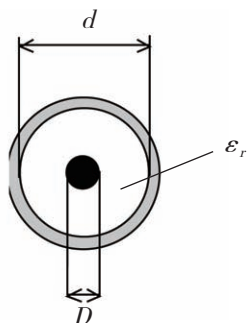


图1 同轴电缆截面图

该电缆组件选用的电缆外导体内径 d 为1.68 mm, 内导体外径 D 为0.51 mm, 由式(3)得特性阻抗 Z_0 理论值约为50 Ω 。

1.2 连接器的特性阻抗

连接器的特性阻抗 Z_0 由外导体内半径 r 和内导体半径 R 的比值以及传输介质的导磁率 μ 和相对介电常数 ϵ_r 决定, 如图2所示, 介质材料为聚四氟乙烯 (PTFE), 导磁率为1, 相对介电常数为2.1。公式如下:

$$Z_0 = 60 \times \left(\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \right) \times \ln \frac{r}{R} \quad (4)$$

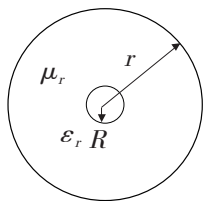


图2 连接器截面图

该电缆组件选用的连接器外导体内半径 r 为5.9 mm, 内导体半径 R 为1.8 mm, 由式(3)得特性阻抗 Z_0 理论值约为50 Ω 。

1.3 电缆组件的电压驻波比

当信号在终端负载阻抗不等于传输线特性阻抗的传输线上传输时, 会产生反射波, 反射波的大小可用电压驻波比 (VSWR) 表示, 电压驻波比为传输线上合成电压的最大值与最小值之比, 即

$$VSWR = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} \quad (5)$$

也可以通过阻抗计算VSWR, 公式如下:

$$VSWR = \frac{Z_0}{Z_L} \quad (Z_L < Z_0 \text{ 时}) \quad (6)$$

$$VSWR = \frac{Z_L}{Z_0} \quad (Z_L > Z_0 \text{ 时}) \quad (7)$$

式中: Z_0 为同轴电缆特性阻抗; Z_L 为负载阻抗。

连接器和同轴电缆的特性阻抗共同决定了电缆组件的电压驻波比。同轴电缆特性阻抗与负载阻抗完全相等, 即电缆组件驻波比等于1只是一种理想状态, 实际应用中, 由于连接器、电缆自身的制造误差及电缆组件装接过程中带来的误差, 都会导致特性阻抗的偏离, 引起信号反射。由式(6)和式(7)可以看出, 对于选定的连接器及匹配电缆, 避免阻抗突变, 保证装接过程中特性阻抗的连续性, 是使组件达到最小驻波比的关键。

2 影响电缆组件电压驻波比的因素

电缆芯线剥头尺寸、屏蔽层剥离尺寸及其焊接和盖的焊接质量均会影响电缆组件特性阻抗, 最终影响组件的电压驻波比和传输损耗。

2.1 电缆芯线剥头过长

此电缆组件选取的电缆特性阻抗为50 Ω , 连接器要求的电缆剥头尺寸如图3, 如果电缆芯线剥头尺寸 A 过长, 大于连接器要求的尺寸 a , 意味着将有一部分芯线裸露在空气中, 这部分绝缘层的缺失导致式(3)中的 ϵ_r 由2.1变为空气的 ϵ_r , 引起电缆阻抗 Z_0 发生偏离, 由50 Ω 变为80 Ω , 也就是说引发射频电缆组件的特性阻抗从50 Ω 突变到80 Ω 又突变到50 Ω [2,3]。根据传输线阻抗匹配理论, 频率为1 GHz信号的波长为300 mm, 而芯线($A-a$)长度不满足1/4波长 (75 mm) 阻抗变换器长度, 不能将阻抗变换成50 Ω , 此处形成了一定的能量反射, 导致电压驻波比变大。

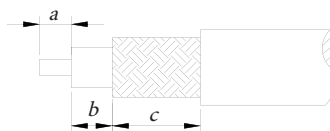


图3 电缆剥头尺寸

2.2 电缆屏蔽层剥离尺寸过长

如果图3中电缆屏蔽层的剥离尺寸 B 大于要求尺寸 b ,这部分长度的电缆没有外导体覆盖,此处的特性阻抗相当于聚四氟乙烯绝缘导线的高阻抗,远大于 $50\ \Omega$ 阻抗要求,将引起电缆组件阻抗发生突变,驻波比变大。连接器在设计过程中,内导体及绝缘套存在直径突变的情况,并对绝缘套进行了切槽处理,因此对电缆绝缘层剥头尺寸进行了补偿^[4],以使组件驻波比达到最佳性能,此时应遵循连接器设计时给定的剥头尺寸,否则容易引起电缆与连接器之间阻抗不匹配,导致驻波变大。

2.3 电缆芯线和屏蔽层的焊接

电缆芯线焊接时,如果焊接质量不高,将在焊接孔形成焊锡堆积,导致内导体内径变大,由式(4)可以看出,在焊接处将形成阻抗突变点^[5]。因为传输衰减与频率的均方根成正比,在频率高端带来的传输衰减增大尤为明显。电缆屏蔽层加工时,如果屏蔽层剥离不整齐,有毛刺,与连接器外导体接触不良,也会增大电缆组件驻波比。连接器盖与外壳焊接时如果焊锡过多,流入连接器插合部位,可引起连接器与配对连接器连接时插不到位,导致报废,还可造成连接器外导体内径变小,使组件阻抗发生偏离。如果连接器盖与外壳焊接时存在缝隙,将发生能量泄漏,传输损耗变大。

2.4 测试电缆的影响

电缆组件测试时,由于连接器为非标准型号连接器,无法直接利用标准校准件和标准负载进行测试,这给测试工作带来了很大难度。因为引入了转接电缆组件,其性能对测量值影响比较大,特别是对长度较短的电缆组件影响更大,必须将转接电缆组件的影响降至最小,电缆型号的选择、连接器与电缆的匹配、连接器配接不紧密和电缆的长短都会影响到被测电缆组件的测量值。

3 解决方法

用网络分析仪对引起自激现象的电缆组件进行驻波比测试,整个频段范围内驻波比典型值约为1.4,如图4所示,个别电缆组件最大值高达1.7,整批电缆组件驻波比一致性较差。

通过对电缆组件出现问题的原因分析,加强电缆加工过程中各个环节的管理,并对工艺方法和测试工装进行改进,改进内容主要包括:(1)严格按电缆剥头尺寸剥头,同时注意绝缘层和屏蔽层不要有毛刺;(2)严格控制电缆芯线和屏蔽层的焊接焊锡量,连接器盖与外壳的焊接要均匀且严实;(3)转接电缆(测试工装)采用与被测电缆配对的连接

器,电缆采用与连接器配套的半硬同轴电缆,长度选择依据传输线上驻波比遵循1/2波长重复性和1/4波长变换性原则,选取1/2波长(150 mm)进行试验,试验过程中通过改变工装的长度进行测试,取得最小驻波比时的电缆长度,经过试验、测试,确定140 mm长度为最佳尺寸;(4)对首件进行测试,根据测试结果对电缆的剥头尺寸进行调整,以达到最小驻波比的目的;(5)对个别驻波比为1.7的电缆组件经采取上述措施后仍不能达到1.3以下的,认为是连接器自身问题,对连接器给予更换或整个电缆组件给予更换。

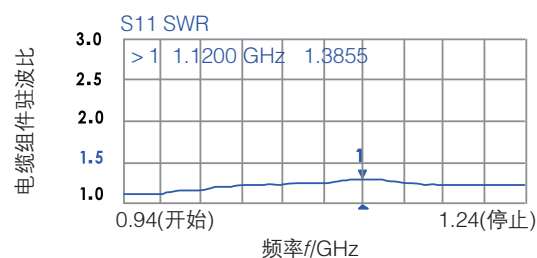


图4 电缆组件驻波比测试图

4 试验结果

采取以上措施后,整个频段范围内电缆组件驻波比典型值为1.20,如图5所示,电缆组件最大值为1.3,比改进前驻波比有所降低,波形比较平滑,整批电缆组件一致性好。经过在接收机上试用,接收机工作正常,满足使用要求。

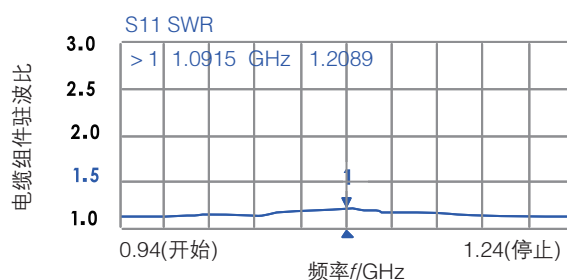


图5 电缆组件驻波比测试图

5 结论

对电缆组件加工工艺进行改进后,降低了驻波比,消除了接收机放大器自激现象,取得了良好效果,为新产品电缆组件的研制提供了解决问题的思路。另外,电缆组件加工过程中每一个细小的环节处理不当都会影响性能,电缆工艺过程管理也需要加强。

参考文献:

- [1] 朱辉.实用射频测试和测量[M].北京:电子工业出版社,

2010: 173.

- [2] 雷国防. 射频电缆组件装联技术研究[J]. 电子工艺技术, 2007, 28(1): 38-40.
- [3] 贾斌. 射频同轴电缆组件的构成及装配[J]. 电子工艺技术, 2006, 27(6): 329-332.
- [4] 石之礼. 高频电缆组件的补偿优化研究[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2006, 13(1): 71-74.
- [5] 宋为民, 刘炳龙, 李明荣. 大功率同轴线中内导体钎焊连接[J]. 电子工艺技术, 2010, 31(5): 296-298.
- 收稿日期: 2012-07-26

(上接第372页)
度明显加快。

此外, 对同一试片的黑色镀镍层分别在未涂覆保护材料前和涂覆保护材料后, 在小的接触压力下, 用毫伏法的低电平测试, 结果表明: 涂覆保护材料后的接触电阻小于涂覆前的接触电阻的现象。为什么会出现这种与常理相悖的情况呢? 要回答这个问题, 就必须从接触电阻的形成机理和接触电阻的概念作深入地分析。众所周知, 理论上的接触电阻由收缩电阻和膜层电阻两部分组成, 收缩电阻是由于表面机械加工后, 即使加工到镜面光亮, 从宏观上讲是平整的, 可微观上看仍然像层峦叠起绵延不断的山峰沟壑一样, 两个像这样的接触表面相互接触时, 基本上是峰与峰之间接触, 峰巅面积很微小, 电流在通过时电力线必然在巅峰收缩从而阻碍电流顺利通过, 所形成的电阻通常称为收缩电阻, 它是接触表面的固有电阻, 一旦接触表面加工完成包括电镀后, 其表面粗糙度就是一个定值, 人为无法改变。另一个是膜层电阻, 当洁净金属置于大气气氛或其他气氛环境中, 表面就会很快吸附一层气体膜, 这种膜很薄, 通常只有一到几个分子层厚度。吸附有两种, 一种是物理吸附即气体和金属表面间由于范德华引力和极性力所形成, 另一种是化学吸附即气体原子在金属表面与金属原子结合成较牢固的键; 还有金属在大气气氛中所形成的化合物层, 最常见的是氧化物, 此外 SO_2 、 H_2S 、 N_xO_y 及 Cl_2 (由于塑料制品应用增多, 塑料中释放出来的物质影响周围金属材料); 尘埃大多为绝缘性介质, 尘埃中含有的各类腐蚀性盐类, 这些盐溶于水形成腐蚀性电解液, 可见这些盐在自然或潮湿环境下 (一般指相对湿度在50%~85%范围) 产生所谓的干燥气体腐蚀^[7]所形成的膜层。所有这些必然阻碍电流通过从而形成膜层电阻, 此电阻受环境影响很大, 是可改变的电阻。理论接触电阻等于收缩电阻加膜层电

阻。如前所述, 涂覆保护材料后虽然没有改变收缩电阻, 但是表面除了保护膜层外不会有吸附膜层和化合物膜层及尘埃膜层, 其所形成的膜电阻远远小于洁净表面的膜电阻, 加上诱电剂所形成的导电隧道效应的协同作用, 所以会产生涂覆电接触润滑保护材料后接触电阻下降。值得一提的是, 没有诱电剂的封闭剂涂覆后电接触表面的接触电阻均有较大的增加。

4 结论

黑色镍镀层作为导电性、装饰性和防护性镀层得到广泛应用, 要保证黑色镍镀层防护特性且在恶劣环境中不变暗而失去光泽和手汗渍所形成的腐蚀性指纹斑点, 就需要对其在环境中腐蚀和手汗中渍腐蚀作用作深入的研究, 通常是防止钢铁和铝基体金属腐蚀, 就必须封闭堵塞微孔或提高微孔之间钢铁、铝基体电极电位的一致性、微孔的大小均匀性以及产生化学和电化学腐蚀与抗腐蚀能力的均衡性, 事实上很难达到。可见只有涂覆具有协同效应的防手汗渍腐蚀的保护材料 (通常的保护材料没有此功能, 汗手摸后会留下指纹且不易处理) 才能保证上述问题的解决。

黑色镍镀层涂覆有电接触性能的保护材料不仅不会影响其固有的电气性能, 而且对其相应的电气性能有较大的改善。

参考文献

- [1] 陈鸿海. 金属腐蚀学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995: 567.
- [2] 李鸿年. 电镀工艺手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [3] 李瑛, 张涛, 王福会. AZ91D镁合金手汗腐蚀机理研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(5): 276-279.
- [4] 张宝根. 钢铁基体镀镍保护材料的研究[J]. 电镀与涂饰, 2002, 21(5): 22-25.
- [5] 张宝根. 正确地选择电接触材料[J]. 机电元件, 1992, 12(4): 6-12.
- [6] 曾兆民. 实用金属防锈[M]. 北京: 新时代出版社, 1989.
- 收稿日期: 2012-08-24

(上接第354页)

- [6] 胡新魁. 用非平衡等离子态的氢还原CuO的实验研究[J]. 中国有色金属学报, 2004, 16(2): 72-73.
- [7] SUENAGA M. Development of flux-free reflow soldering process using hydrogen radicals[C]. Proceedings of 55th Electronic Components and Technology Conference, Lake Buena Vista, FL, 2005.
- 收稿日期: 2012-08-20