

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.02.003

定向耦合器在天线隔离度测试中的应用

Application of Directional Coupler in Isolation Test Between Antennas

梁小亮 史剑锋 宁敏 / LIANG Xiaoliang SHI Jianfeng NING Min

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

飞机机载天线之间可能会因电磁能量互相耦合而产生电磁干扰,天线隔离度测试是验证机载天线布局设计的重要手段之一。根据定向耦合器性能参数定义,通过测量定向耦合器耦合端口和隔离端口的功率值计算出发射天线的净输入功率和接收天线的净输出功率,从而得到天线隔离度。通过机上测试,这种隔离度测试方法简便快捷、稳定可靠,试验结果准确有效。

关键词: 定向耦合器; 天线隔离度; 电磁干扰

中图分类号: V243.4

文献标识码: A

[Abstract] Electromagnetic field commutative coupling between antennas may generate electromagnetic interference. The test of isolation between antennas is one of methods to verify antenna layout design. According to the definition of performance parameters of directional coupler, this paper calculates and test the isolation between antenna on the aircraft by testing pure input power of transmit antenna and output power of receive antenna on aircraft. This method is simple and stable, and the results are valid.

[Keywords] directional coupler; isolation between antennas; electromagnetic interference (EMI)

0 引言

天线作为飞机通信导航系统中电磁能量的发射和接收端口,最有可能形成相互的辐射干扰,即天线的能量发生相互耦合。而在飞机位置有限的机体结构上,天线间的耦合情况相对较为严重^[1-2]。天线隔离度是衡量天线之间电磁能量相互耦合的程度,是衡量系统电磁兼容性的一个关键指标。为了更好地验证天线间的电磁兼容性,需要对天线间的隔离度进行测试,这为天线布局优化设计及设计验证提供了数据支持。理论上天线隔离度的影响因素较多^[3],主要包括发射天线和接收天线的电压驻波比 VSWR (voltage standing wave ratio), 发射系数 ρ 的相位差以及归一化互阻抗 Z_{12} 。但一般在实际工程测试中,天线端口和转接口等并不是阻抗完全匹配,仍有反射波存在,不过通常默认为所有转接口都理想匹配,从而可以较为便捷地得到测试数

据。天线隔离度测试方法一般有两种,第一种方法分为两步,首先是在不接入发射天线和接收天线的情况下,在测试系统功率放大器的输出端插入衰减器,通过连接频谱仪直接读取接收端的功率,然后接入发射天线和接收天线,以同样的发射功率进行发射,读取接收天线输出端口的功率,两者相差即可得到天线隔离度^[4-5]。但是这种测试方法在实际测试操作中较为繁琐,相对耗时也比较长。第二种测试方法是通过定向耦合器的端口功率检测,得到发射天线端口输入功率和接收天线端口输出功率,根据隔离度定义计算天线隔离度。

1 定向耦合器性能参数及其测试方法

定向耦合器在微波技术的各个领域中使用很广泛,是一种具有方向性的功率耦合(分配)的微波元件,可以用于进行功率检测和分离。定向耦合器是一个四端口器件,如图1所示,当电磁波从输入

端口(端口 1)输入时,除了有一部分能量直接从直通端口(端口 2)输出外,同时还有部分能量从耦合端口(端口 3)输出。当各端口都接匹配负载时,若端口 1 加信号,则端口 2、3 有输出,隔离端口(端口 4)理论上是没有输出,但是在实际工程中,端口 4 一般都不是 0。

定向耦合器的性能参数有工作频段、耦合度、隔离度、方向性、插入损耗等。耦合度定义为,端口 1 输入功率和端口 3 输出功率之比,如式(1)所示:

$$C = 10\lg(P_1/P_3) = 10\lg \left| \frac{v_1}{v_3} \right|^2 \quad (1)$$

其中, P_1 为定向耦合器端口 1 的输入功率,单位为 W; P_3 为端口 1 耦合到端口 3 的功率,单位为 W,耦合度单位为 dB。

主线插入损耗定义为端口 1 输入功率和端口 2 输出功率之比,如式(2)所示,

$$L = 10\lg(P_1/P_2) = 10\lg \left| \frac{v_1}{v_2} \right|^2 \quad (2)$$

其中, P_1 为定向耦合器端口 1 的输入功率,单位为 W; P_2 为端口 2 输出功率,单位为 W,插入损耗单位为 dB。

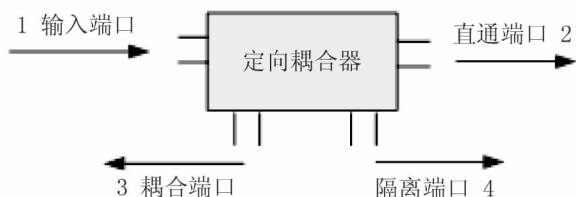


图 1 定向耦合器示意图

定向耦合器为四端口网络,其耦合度和插入损耗可以通过矢量网络分析仪测量散射参数 S_{31} 和 S_{21} 得到。散射参数 S_{ij} 定义为,在 j 端口施加入射波电压为 V_j^+ 时,端口 i 上的反射波电压 V_i^- 和 V_j^+ 的比值,如式(3)所示,此式成立的条件是除了 j 端口其他端口都必须匹配(即 j 端口外的其他端口入射波都为 0)。

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0, k \neq j} \quad (3)$$

根据散射参数定义,可以得出耦合度 C 和主线插入损耗 L 采用矢网进行测试时的计算方法^[6],如式(4)、(5)所示。

$$C = 10\lg \frac{1}{S_{31}^2} \quad (4)$$

$$L = 10\lg \frac{1}{S_{21}^2} \quad (5)$$

以测试定向耦合器的耦合度 C 为例,如图 2 所示,可以通过测试耦合器的散射参数 S_{31} 得到,首先对矢网的 IN 端口和 OUT 端口进行开路、短路、50 Ω 匹配进行校准,然后把定向耦合器的端口 1 和端口 3 分别接到矢网的 IN 端和 OUT 端,定向耦合器的端口 2 和端口 4 接 50 Ω 匹配负载。得到 S_{31} 以后,通过式(5)计算得出定向耦合器的主线插入损耗。同理,可以利用此方法计算定向耦合器的耦合度。理论上,定向耦合器的耦合度和主线插入损耗都是频率的函数,但是实际工程中,在使用频段内定向耦合器的耦合度和主线插入损耗值随着频率变化非常微小,一般当做常数处理。

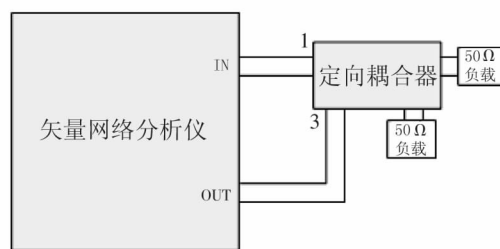


图 2 定向耦合器耦合度测试

2 天线隔离度测试方法

天线隔离度定义为接收天线净输出功率与发射天线的净输入功率的比值^[7],如式(6)所示, P_t 为在发射天线端的净输入功率,单位为 W; P_r 为在接收天线端的净输出功率,单位为 W; D 为收发天线之间的隔离度,单位为 dB。一般工程中, P_t 和 P_r 采用 dBm 为单位,则隔离度为两者之差。

$$D = 10\lg \frac{P_t}{P_r} \quad (6)$$

通过定向耦合器测试天线隔离度的测试原理如图 3 所示。其工作原理是通过测试定向耦合器的耦合端口和隔离端口的功率值,计算出耦合器直通端口的输出功率,即发射天线的输入功率。同理,可以得到接收天线的输出功率。

根据式(1)、(2),测试端口 3 和端口 4 的功率可以得出发射天线端口的净发射功率,具体分析过程为:首先通过端口 3 的测试功率和定向耦合器的

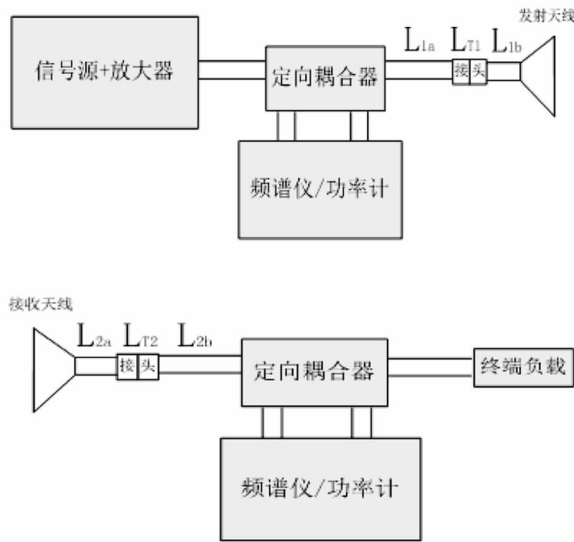


图3 机载天线隔离度测试示意图

耦合度得出定向耦合器端口1的输入功率,再减去插入损耗,得到端口2的输出功率,由于端口4有测试值,表明端口2有反射存在,所以,在考虑线缆损耗情况下,发射天线的净输入功率可由式(7)计算得出。

$$P_1 = 10\lg\left(10^{\frac{(P_{13}+C_1-L')}{10}} - 10^{\frac{(P_{14}+C_1)}{10}}\right) \quad (7)$$

其中, P_{13} 为连接发射天线的定向耦合器端口3的测量功率,单位为dBm; C_1 为定向耦合器的耦合度,单位为dB; L' 为主线插入损耗,单位为dB; P_{14} 为连接发射天线的定向耦合器端口4的测量功率,单位为dBm; L_1 为定向耦合器到天线端口的连接电缆和转接头的损耗,单位为dB, L_1 按式(8)计算:

$$L_1 = L_{1a} + L_{1T} + L_{1b} \quad (8)$$

其中, L_{1a} 为定向耦合器到转接头的测试电缆插入损耗,单位为dB; L_{1T} 为转接头的插入损耗,单位为dB; L_{1b} 为连接发射天线的专用电缆插入损耗,单位为dB。

接收天线输出至定向耦合器的端口1,因此可以根据耦合度的定义由式(9)直接得到接收天线的净输出功率:

$$P_r = P_{23} + C_2 + L_2 \quad (9)$$

其中, P_{23} 为连接接收天线的定向耦合器端口3的测量功率,单位为dBm; C_2 为定向耦合器的耦合度,单位为dB; L_2 为定向耦合器到天线端口的连接电缆和转接头的损耗,单位为dB; L_2 按式(10)计算如下:

$$L_2 = L_{2a} + L_{2T} + L_{2b} \quad (10)$$

其中, L_{2a} 为接收天线到转接头的专用电缆的插入损耗,单位为dB; L_{2T} 为转接头的插入损耗,单位为dB; L_{2b} 为连接定向耦合器的测试电缆插入损耗,单位为dB。

将式(7)、(9)代入式(6),可以得到发射天线和接收天线之间的隔离度为:

$$D = 10\lg\left(10^{\frac{(P_{13}+C_1-L')}{10}} - 10^{\frac{(P_{14}+C_1)}{10}}\right) \quad (11)$$

3 天线隔离度测试及结果

测试选取发射天线和接收天线为两套机载甚高频(VHF)天线,取典型的测试频点120 MHz、130 MHz和135 MHz,信号源发射17 dBm信号,连接发射天线的定向耦合器的耦合度 C_1 为50 dB,通过机身上部的甚高频天线VHF2发射。机身下部的甚高频天线VHF1连接定向耦合器的耦合度 C_2 为40 dB,并对隔离端口功率进行了检测,发现其和环境噪声处于同一电平等级,直通端口连接负载进行吸收。

发射天线定向耦合器输出端口与发射天线端口之间的测试射频电缆为10 m,天线专用转接电缆为1 m。接收天线定向耦合器接收端口与接收天线端口之间测试射频电缆为8 m,天线专用转接电缆为1 m。依据电缆插入损耗数值(优质射频电缆的统计值)及考虑测试现场环境条件,取测试射频电缆插入损耗为0.07 dB/m,转接头插入损耗为0.1 dB,天线专用转接电缆插入损耗0.1 dB/m。计算得出 $L_1 = 0.9$ dB, $L_2 = 0.76$ dB。与发射天线连接的定向耦合器的主线插入损耗 L' 为0.01 dB。

为了保证试验数据的可靠性,每个频点测试三次后取平均值作为隔离度计算结果。根据以上测试方法,计算出两个甚高频天线在三个频点下的隔离度分别为56.48 dB、50.49 dB和52.25 dB。

4 结论

通过定向耦合器定义性能参数和天线隔离度定义,给出了天线隔离度测试方法,并在飞机上进行了工程测试。测试结果表明,两个VHF天线的隔离度满足设计要求,天线占位设计合理。需要注意的是,测试过程中,应该结合测试频段和定向耦合器的耦合度等因素合理选择定向耦合器的型号和规格。

参考文献:

- [1] 冯晓林,郭平凡,王东升,等. 机载天线间隔离度计算[J]. 弹箭与制导学报,2005(3):355-357.
- [2] 徐劲拓,马晓宇,晏阳栋. 天线耦合度自动测试软件的设计[J]. 电子质量, 2009(8):12-14.
- [3] 陈亮,潘涵,熊波,等. 模型天线隔离度测试误差探讨[J]. 微波学报,2010,26(S2):117-119.
- [4] 王冰切,苏东林,全力民,等. 电子战特种飞机的天线隔离度测试[J]. 宇航计测技术,2007(3):1-5.
- [5] 党宝祖,等. 雷达馈线分系统性能测试方法功率分配比、隔离度、气密性:GJB3090-97 [S]. 1997.
- [6] 石爱民,王贤武,文良华,等. 基于定向耦合器的高频功

率测量[J]. 强激光与粒子束,2011,23(4):1061-1064.

[7] 王立. 机载天线隔离度仿真与分析[J]. 电讯技术,2012,52(8):1383-1386.

作者简介

梁小亮 男,高级工程师。主要研究方向:飞机电磁兼容、电搭接/接地、静电防护设计与验证;E-mail: liangxiaoliang@comac. cc

史剑锋 男,高级工程师。主要研究方向:飞机电磁兼容、天线设计、天线布局;E-mail: shijianfeng@comac. cc

宁敏 女,高级工程师。主要研究方向:飞机电磁兼容、天线设计、天线布局;E-mail: ningmin@comac. cc