

# 运动平台上相邻天线的隔离问题

阮成礼

电子科技大学 成都 610054

[摘要] 在运动平台上往往有许多电子系统及其天线，它们不但空间距离很近，而且常常工作在相邻的频段上。为了保证各电子系统都正常工作，相邻天线之间的隔离是个重要课题。本文把天线看成多端口网络，把相邻天线的隔离问题用多端口网络互联来描述。用微波网络理论分析了影响相邻天线隔离指标的各种因素。实际设计并研制了一套多频道天线，达到了预定指标，最后给出了测试结果。

关键词：相邻天线，隔离，多端口网络。

中国图书分类号：

## 1 理论分析

在运动平台上往往有许多电子系统及其相应的收、发天线。这些天线不但其空间距离很近，而且常常工作在相邻的频段上，我们把这类天线称之为相邻天线。为了保证相邻天线能正常工作，相邻天线之间的隔离是个重要课题。在本文的讨论中把一副天线看成微波多端口网络，相邻两副天线有两个微波多端口网络互联来描述。这样一天线之间的隔离参数即组合多端口网络相应端口（两天线的馈电端之间）的传输参数。

首先讨论两个任意多端口网络互联构成一个组合网络时其散射参数与原始网络参数的关系。设有一个  $n$  端口网络 A 和一个  $m$  端口网络 B，把  $i^a$  端口和  $j^b$  端口连接起来构成网络 C。如图 1 所示。

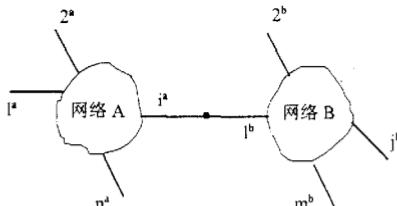


图 1  $n$  端口网络 A 与  $m$  端口网络 B  
连接起来构成  $(n+m-2)$  端口网络 C

用散射参数描述多端口网络的特性有：

$$\begin{bmatrix} b_1^a \\ b_2^a \\ \vdots \\ b_n^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}^a & \cdots & S_{1n}^a \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1m}^a & \cdots & S_{nn}^a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1^c \\ a_2^c \\ \vdots \\ a_n^c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} b_1^b \\ b_2^b \\ \vdots \\ b_n^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}^b & \cdots & S_{1n}^b \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1m}^b & \cdots & S_{nn}^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1^b \\ a_2^b \\ \vdots \\ a_n^b \end{bmatrix} \quad (2)$$

$S_{ij}^a$  表示网络 A 的散射参数,  $S_{ij}^b$  表示网络 B 的散射参数。把网络 A 的第  $i^a$  端口与网络 B 的第  $j^b$  端口连接构成网络 C, 则网络 C 的端口数为  $(n+m-2)$ , 由式 (1) 和式 (2) 有。

$$b_i^a = S_{11}^a a_1^a + S_{12}^a a_2^a + \cdots + S_{1n}^a a_n^a \quad (3)$$

$$b_i^b = S_{11}^b a_1^b + S_{12}^b a_2^b + \cdots + S_{1n}^b a_n^b \quad (4)$$

当网络 A 与网络 B 互联后有

$$b_i^a = a_1^b, \quad a_i^a = b_i^b \quad (5)$$

由式 (3~5) 可导出

$$\begin{aligned} b_1^a &= (S_{11}^a + \frac{S_{12}^a S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{21}^a} S_{11}^b) a_1^a + \cdots + (S_{1n}^a + \frac{S_{12}^a S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{21}^a} S_{11}^b) a_n^a \\ &\quad + \frac{S_{12}^a S_{21}^b}{1 - S_{11}^a S_{21}^b} a_2^b + \cdots + \frac{S_{1n}^a S_{21}^b}{1 - S_{11}^a S_{21}^b} a_m^b \end{aligned} \quad (6)$$

即从网络 A 的  $1^a$  端口到网络 B 的  $j^b$  端口的散射参数  $S_{1j}^c$  为:

$$S_{1j}^c = \frac{S_{11}^a S_{1j}^b}{1 - S_{11}^a S_{1j}^b}, \quad j = 2, 3, \dots, m \quad (7)$$

由网络 A 的  $1^a$  端口到网络 A 的  $i^a$  端口的散射参数  $S_{ii}^c$  为:

$$S_{ii}^c = S_{11}^a + \frac{S_{12}^a S_{21}^a}{1 - S_{11}^a S_{21}^a} S_{11}^b \quad (8)$$

若把 n 端口网络 A, m 端口网络 B 和 p 端口网络 C 级联起来, 如图 2 所示, 构成网络 D, 则网络 D 的端口数为  $(n+m+p-4)$ , 类似上面的推导, 可得从网络 A 的  $1^a$  端口到网络 C 的  $i^a$  端口的散射参数  $S_{1i}^d$  为:

$$S_{1i}^d = \frac{S_{11}^a S_{1j}^b S_{ji}^c}{(1 - S_{11}^a S_{1j}^b)(1 - S_{ji}^b S_{ii}^c)} \quad (9)$$

其中  $S_{ji}^{ab}$  表示网络 A 和网络 B 构成的组合网络的  $j^b$  端口散射参数, 用类似的方法可得任意多个端口网络级联的综合网络的散射参数为:

$$S_{1q}^{ab\cdots f} = \frac{S_{11}^a S_{1j}^b \cdots S_{iq}^f}{(1 - S_{11}^a S_{1j}^b)(1 - S_{ji}^{ab} S_{ii}^c) \cdots (1 - S_{pp}^{ab\cdots f} S_{ii}^f)} \quad (10)$$

## 2 相邻天线的隔离

任意一副微波天线可看成一个二端口网络，即一个馈电端口和一个辐射端口。天线 A 即二端口网络 A，其馈电口为  $1^a$  端口，辐射端为  $2^a$  端口。天线 B 即二端口网络 B，其辐射端为  $2^b$  端口，馈电端口为  $1^b$  端口。两天线之间的隔离参数即天线 A 和

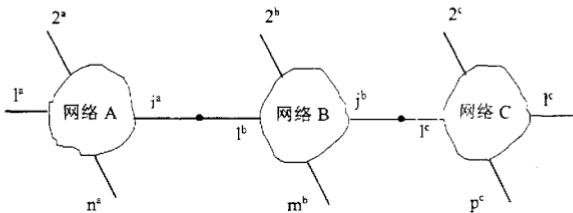


图 2 三个多端口网络级联构成网络 D

天线 B 级联构成的网络 C（为二端口网络）的传输参数  $S_{12}^c$ 。由式（7）方见从  $1^a$ （即  $1^c$ ）端口到  $1^b$ （即  $2^c$ ）端口的传输参数为：

$$S_{12}^c = \frac{S_{12}^a S_{12}^b}{1 - S_{22}^a S_{22}^b} \quad (11)$$

设天线 A 的工作频带为  $Bw_a$ ，天线 B 的频带为  $BW_b$ ，而且天线 B 的工作频率高于天线 A。在网络级联是理想匹配情况下，即  $S_{22}^b$ （或  $S_{22}^a$ ）=0 的情况下，式（11）简化为：

$$S_{12}^c = S_{12}^a S_{12}^b \quad (12)$$

事实上，天线 A 和天线 B 是工作于相邻但不相同的频带内，因此  $S_{12}^c$  是与频率有关的参数。

在天线 A 的频带  $Bw_a$  内， $S_{12}^a \approx 1$ ，式（11）可近似为：

$$S_{12}^c = \frac{S_{12}^b}{1 - S_{22}^a S_{22}^b}, \quad f \in BW_a \quad (13)$$

同理在频带  $BW_b$  内，式（11）可近似为：

$$S_{12}^c = \frac{S_{12}^a}{1 - S_{22}^a S_{22}^b}, \quad f \in BW_b \quad (14)$$

由式（13）和（14）可见影响隔离的因素包括  $S_{12}^a$ 、 $S_{12}^b$ 、 $S_{22}^a$  和  $S_{22}^b$ 。理想隔离要求：① 互连端口是完全匹配的，即  $S S_{22}^b = S_{22}^a = 0$ ，② 两天线的传输参数  $S_{12}^{a,b}$  具有矩形频率特性，即在工作频带内  $S_{12}^{a,b} \approx 1$ ，在工作频带外  $S_{12}^{a,b} = 0$ 。 $S_{22}^a$  是天线 A 与自由空间的匹配参数， $S_{22}^b$  是天线 B 与自由空间的匹配参数。实用的天线设计可以达到  $|S_{22}^a S_{22}^b| \ll 1$ ，因此提高两天线之间的隔离参数关键是使  $S_{12}^a$  和  $S_{12}^b$  具有矩形频率特性，这一点是很难实现的。为了提高两相邻天线之间的隔离，除了需排除  $1^a$  端和  $1^b$  端口的直接耦合外，可用附加的滤波网络来实现，如图 3 所示。

附加滤波网络是一个 LC 串联谐振网络，它加在 B 天线的辐射端。它的作用使从  $1^b$  端口看进去天线是理想匹配的，而对  $1^a$  端口来说，LC 网络在  $Bw_a$  频带是串联谐振的，因此从

天线 A 壁入天线 B 的信号被旁路，从而提高两天线之间的隔离。

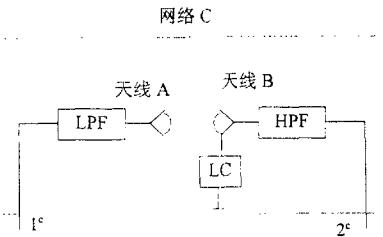


图 3 设计附加滤波网络来提高两天线之间的隔离指标

### 3 实验结果

我们实际设计并研制了一多频道天线，它是一个两天线系统，两天线是制备在同一块印制电路板上，装在同一个天线罩内。两天线之间的距离小于 10mm。图 4~7 给出了测试结果。图 4 是天线 A 馈电端口的驻波比，图 5 是天线 B 馈电端口的驻波比。图 6 是未加滤波网络时天线 A 与天线 B 之间的隔离，图 7 是加上附加滤波网络后两天线之间的隔离。比较图 6 和图 7 可以看出上节提出的改进隔离指标的措施非常有效，如图中标出的 A 点，在图 6 中隔离为 -42dB，采用附加滤波电路后的结果示于图 7，同样在 A 点隔离为 -54dB，改善约 12dB。隔离指标劣于 -50dB 的一段是两天线工作频带之间的隔离频带（即 A 点和 B 点之间的频带）可以看出，在天线的工作频带  $Bw_A$  和  $BW_B$  内隔离指标都优于设计要求的 -50dB，最小隔离为 -54dB。

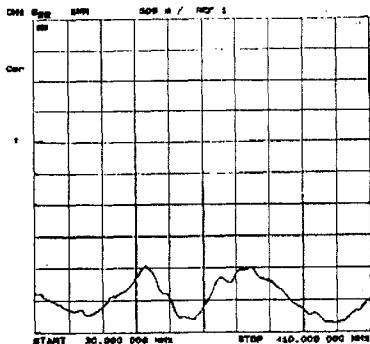


图 4 天线 A 馈电端口的驻波比

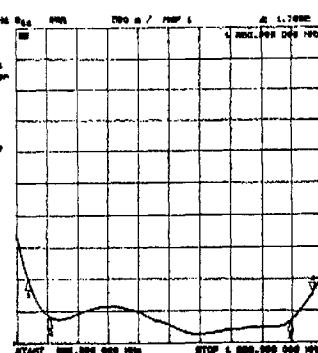


图 5 天线 B 馈电端口的驻波比

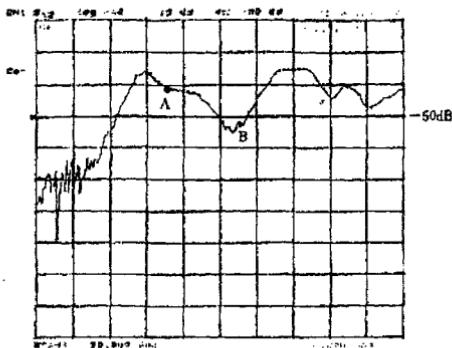


图 6 未加滤波网络时天线 A 与天线 B 之间的隔离

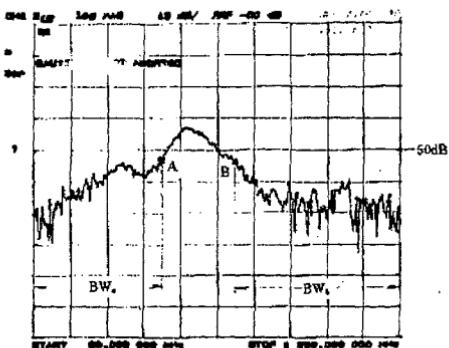


图 7 加上滤波网络时天线 A 与天线 B 之间的隔离

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>