

# 矢量网络分析仪的镜频抑制技术

林 英

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 山东 青岛 266555)

**[摘 要]**本文首先介绍了矢量网络分析仪的镜频干扰,主要讨论镜频抑制混频器的工作原理和具体实现电路,分析和推导了镜频抑制的理论公式,并给出影响镜频抑制效果的主要因素。

**[关键词]**混频;镜频抑制

## The Mirror Frequency Rejection of Vector Network Analyzer

LIN Ying

(The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao Shandong, 266555)

**[Abstract]**In this paper, the mirror frequency interferer is introduced first, It mainly discusses the work principle of the mirror frequency rejection mixer and the detailed circuit, By analyzed the theory about mirror frequency rejection, and the effect of mirror frequency rejection is given.

**[Key words]**Mixer; Mirror frequency rejection

### 0 引言

矢量网络分析仪作为测试测量仪器的重要组成部分,正发挥着越来越大的作用。随着现代测量技术对测试速度和精度的要求越来越高,矢量网络分析仪也在不断适应需求,改进设计技术。其中,具有镜频抑制功能的混频器的设计,能够实现对镜像频率信号的有效抑制,大大提高矢量网络分析仪测试的准确性。

### 1 镜频干扰

在混频接收系统中,存在有镜频干扰,它是指镜频信号与本振信号混频产生假中频信号的现象。镜像频率简称镜频( $f_i$ ),是指与射频信号( $f_r$ )对称分布在本振信号( $f_l$ )两侧,成镜像对称关系的频率信号,信号之间的关系如图 1 所示:

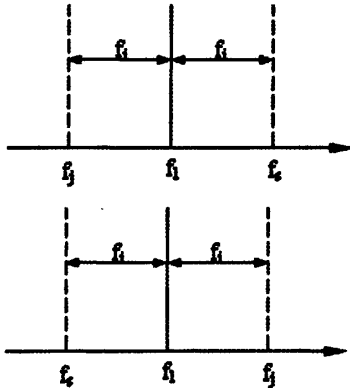


图 1 镜像频率关系

在图 1 中, $f_i$ 为镜频信号, $f_l$ 为本振信号, $f_r$ 为射频信号, $f_c$ 为中频信号。由于镜频干扰产生的假中频信号很难去除,通常要在混频器前端加带通滤波器,滤除镜频和其他不需要的干扰频率,以防在混频过程中产生镜频干扰和其他的组合干扰。但是如果存在以下两种情况,则不能通过带通滤波器来滤除镜频:

1.1 混频器的输入频率是变化的,而且镜频可能还会落入混频器的输入频率范围,这时无法通过使用带通滤波器的方法来抑制镜频干扰。

1.2 镜频与有用的射频信号相距太近,由于带通滤波器本身指标的限制,无法滤除镜频信号。

当出现以上情况时,必需设计有镜频抑制功能的混频接收电路,这种混频电路根据输入信号频率比本振频率高还是低来识别是真实的射频信号还是镜频信号,输出有用的中频信号,抑制镜频产生的假中频信号。

### 2 镜频抑制混频器的工作原理

带有镜频抑制功能的混频电路如图 2 所示,它由两个正交的混频电路、90°移相电路和相加电路组成。

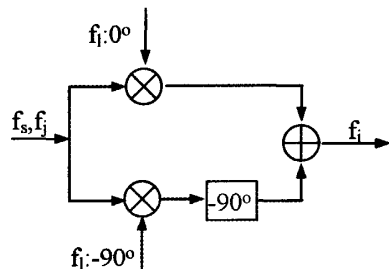


图 2 镜频抑制混频电路原理框图

下面将详细讨论镜频抑制混频器的工作原理:首先假设  $f_r > f_l$ ,并设射频信号为  $V_r \cos \omega_r t$ ,本振信号为  $V_l \cos \omega_l t$ ,镜频信号为  $V_i \cos \omega_i t$ ,当射频信号和镜频信号输入混频器混频后,产生以下频率分量(只考虑基波混频):

0°本振混频通路:

$$(V_r \cos \omega_r t + V_i \cos \omega_i t) \times V_l \cos \omega_l t \\ = \frac{1}{2} V_r V_l \cos(\omega_r - \omega_l)t + \frac{1}{2} V_i V_l \cos(\omega_i - \omega_l)t + \frac{1}{2} V_r V_l \cos(\omega_r + \omega_l)t + \frac{1}{2} V_i V_l \cos(\omega_i + \omega_l)t$$

$\cos(\omega_i + \omega_l)t$

滤除和频分量后,0°本振混频通路的最后混频产物为:

$$\frac{1}{2} V_r V_l \cos(\omega_r - \omega_l)t - \frac{1}{2} V_i V_l \cos(\omega_i - \omega_l)t$$

-90°本振混频通路

$$(V_r \cos \omega_r t + V_i \cos \omega_i t) \times V_l \cos(\omega_l t - 90^\circ)$$

$$= \frac{1}{2} V_r V_l \cos[(\omega_r - \omega_l)t + 90^\circ] + \frac{1}{2} V_i V_l \cos[(\omega_i - \omega_l)t - 90^\circ] +$$

$$\frac{1}{2} V_r V_l \cos[(\omega_r + \omega_l)t - 90^\circ] + \frac{1}{2} V_i V_l \cos[(\omega_i + \omega_l)t - 90^\circ]$$

滤除和频移相 90°后,-90°本振混频通路的最后混频产物为:

$$\frac{1}{2} V_r V_l \cos(\omega_r - \omega_l)t - \frac{1}{2} V_i V_l \cos(\omega_i - \omega_l)t$$

经过相加电路,最后的混频产物为: $V_r V_l \cos(\omega_r - \omega_l)t$ 。通过以上的推导,我们发现这种结构的混频电路可以抑制镜频产生的假中频信号: $V_i V_l \cos(\omega_i - \omega_l)t$ 。对于  $f_r < f_l$  的情况,只要将两路本振信号交换就可以了。通过以上的推导过程,我们发现只要两个混频通路可以做到绝对的幅度和相位平衡,就可以完全抑制掉镜频干扰。

观察图 2 的电路结构,发现它的两个通路不是完全对称的,如果采用这种电路形式,很难做到一致的幅相平衡,电路的温漂特性也很差,所以镜频抑制的效果并不理想,为此,我们将图 2 的电路形式加以改进,变成图 3 的形式:

可以证明,只要满足  $\varphi_2 - \varphi_1 = 90^\circ$ ,这种混频电路就可以抑制镜频产生的干扰,同时因为电路具有对称的结构,很容易获得理想的幅相平衡,镜频抑制的效果比较理想。

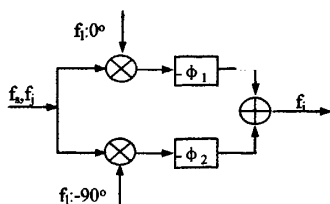


图3 改进的镜频抑制混频电路

### 3 移相电路的设计

在镜频抑制混频电路的设计中,混频器是最关键的器件。经过比较,混频器我们选择 AD 公司的 AD831AP,它是一款双平衡混频器,具有低失真,低本振功率的特点,外围电路的设计比较简单,但是功耗稍大,设计时要注意散热处理。

在镜频抑制设计中,移相电路是其最重要的组成部分,是实现镜频抑制的关键技术。在矢量网络分析仪中移相电路的实现均采用了一阶全通滤波器,其电路的形式如图4中所示:

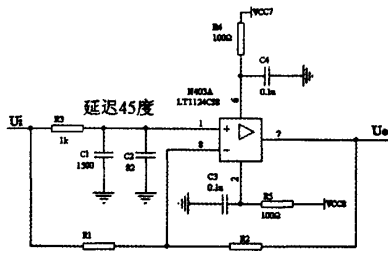


图4 移相电路图(延迟45度)

$$U_o = -\frac{R_2}{R_1} U_i + (1 + \frac{R_2}{R_1}) \frac{1/j\omega(C_1 + C_2)}{R_3 + 1/j\omega(C_1 + C_2)} U_i \quad (\text{当 } R_1 = R_2 = R_3 \text{ 时})$$

$$= \frac{1 - j\omega R_2(C_1 + C_2)}{1 + j\omega R_2(C_1 + C_2)} U_i = \frac{1 - jff/f_0}{1 + jff/f_0} U_i$$

$$(\text{中心频率: } f_0 = \frac{1}{2\pi R_2(C_1 + C_2)})$$

写成模和相角的形式:

$$|A_u| = 1$$

$$\psi = -2\arctan ff/f_0$$

(3)

由(3)式得:

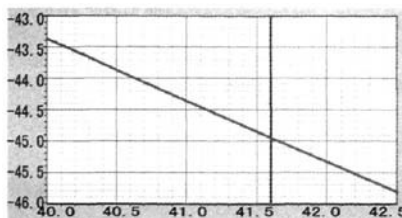
$$ff/f_0 = -\tan\psi/2$$

$$C_1 + C_2 = \tan(\psi/2)/2\pi f R_2$$

(4)

可以看出信号频率从零到无穷大,输出电压的数值与输入电压相等,具有全通性,只有相移随频率  $f$  的变化而变化。随着输入信号频率增加,输出电压滞后加大;其相移特性也随着发生变化。只要选择合适的电阻  $R$  和电容  $C_1, C_2$ , 就可以实现  $-45^\circ, -90^\circ, -135^\circ$  的相移。

在矢量网络分析仪中  $R_1 = R_2 = R_3 = 1K$ , 第二中频  $f$  为  $41.667kHz$ , 当  $\psi = -45^\circ$  时, 由(4)式得:  $C_1 + C_2 = 1582PF$  我们可以取:  $C_1 = 1500PF$   $C_2 = 82PF$ 。仿真波形如图5所示:

图5  $-45^\circ$  的移相仿真波形图

实际调试中,移相电路的精确度是影响镜频抑制效果的主要因素。因此移相电路中的电阻一律采用精密电阻,误差范围最好是 0.1%。电容取值尽可能接近理论计算值,在不能满足的情况下,我们电路设计时应该考虑多个电容并联法。

### 4 结束语

本文通过对镜像抑制技术的分析,设计出的混频电路能有效的滤出矢量网络分析仪的镜像频率干扰,抑制镜频产生的假中频信号,从而大大提高整机测试的准确度。

#### 【参考文献】

- [1] 曾兴雯, 刘乃安, 陈健. 高频电路原理与分析. 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [2] 傅丰林. 电子线路基础. 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [3] 总装备部司令部通信局信息产业部电子 41 研究所. 现代通信测量仪器. 军事科学出版社, 1999.

作者简介: 林英 (1981—), 女, 本科, 2004 年毕业于西安电子科技大学。

【责任编辑: 翟成梁】

(上接第 342 页) 3.2 合理安排安全教育。定期让大家学习一些典型案例, 让大家讨论并分析事故原因, 引导大家深入、全面地理解问题, 探究各种问题的根源, 让漂浮的思绪沉下来, 冷静理智地面对各种压力。

3.3 把心理疏导引入安全例会, 引导大家如何面对种种压力, 让大家各自形成一套适合自己的压力管理模式和应对策略。

3.4 做好包括单位、家庭、社会各层面人际关系的交流沟通工作, 让自己处在一种和谐、温情的氛围中。

3.5 养成良好的生活习惯和行车习惯。充分休息好, 吃饭要定时, 多

参加一些体育活动, 保持身心健康。

#### 【参考文献】

- [1] 公安部交通管理局. 2008 年全国道路交通事故情况. 2009-01-04. <http://www.mps.gov.cn/n16/n1252/n1837/n2557/1770230.html>.
- [2] 韦德, 塔佛瑞斯. 心理学的邀请. 第三版. 北京大学出版社, 2007: 03.

【责任编辑: 田方义】

(上接第 396 页) 个职工的技术状况和个人特点, 并根据不同的人确定不同的思路, 分派不同的工作内容和技术要求, 使其能够充分发挥自己的能力, 并不断总结工作中的经验和不足, 需要改进的技术及需要充实的知识, 有针对性的进行充电, 使每个人都能得到迅速提高。这样每一个人不仅能看到自己的不足, 也能看到个人的进步, 因此就更有信心进行学习和提高, 更加能够发挥每个人的潜能, 使检验技术水平得到有效提升。

随着我国市场经济的逐步完善和 WTO 规则对质量技术监督工作提出的新要求, 在承担重大检测任务、审批重要检测报告和组织重大科技攻关等方面, 急需一批了解国内外检测技术发展最新动态、熟练

掌握本专业先进的检验理论和方法、精通本专业检测技术、在理论和实践方面具有高水平的专业人才队伍。为适应这一形势的要求, 省局率先在全国实行了首席检测师制度。我既然加入了这个队伍, 就决不能给这个称号抹黑, 我将在自己的岗位上更加努力, 充分发挥首席检测师的作用, 为我们质检事业的发展有一份热发一份光。

作者简介: 陈付策, 副高级工程师, 东营市产品质量监督检验所电器室主任, 山东省质量技术监督系统首席检测师。

【责任编辑: 田方义】

## 微波射频测试仪器使用操作培训

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;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,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

### 微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



### 示波器使用操作培训课程套装



示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>