

卫星系统频谱分析方法研究及应用

周丽萍, 陈海波

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 文章讨论了复杂卫星系统的频谱分析思路和方法, 通过对卫星射频系统的工作频段组合的线性计算, 可以找到如谐波、互调等非线性干扰所引起的潜在电磁兼容问题。介绍了用 LabView 平台开发的一个频谱分析软件及其在具体型号中的应用界面, 将已知的卫星射频分系统的一些收发设备相关频率信息输入该软件中, 可以计算出各收发设备之间可能存在的干扰对。

关键词: 电磁兼容; 频谱分析; 软件; LabView

中图分类号: TN911.6; V443

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2009)05-0485-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2009.05.019

1 引言

随着现代卫星电子系统日趋复杂, 射频收发设备种类也越来越多, 为了保证卫星上各发射机产生的带内有意发射信号和带外无意发射信号均不会对星上其他射频接收机构成干扰, 在卫星设计初期, 要完成电磁兼容分析工作, 尤其是对星上所有射频收发设备间的频谱兼容性分析^[1]。

2 卫星系统频谱分析

2.1 系统频谱分析原理

卫星射频收发设备频谱兼容性分析应分为两步进行: 首先进行频谱兼容性分析, 找出在频率上可能发生干扰的发射机-接收机干扰对(干扰对指干扰源与干扰对象); 然后对其进行干扰程度分析, 预估干扰信号的强度是否高于接收机灵敏度。综合两步的结果给出最终分析结论。

以敏感源接收机作为主要对象进行频谱兼容分析。实际的射频接收机都有其接收选择特性, 而选择特性曲线通常近似为钟形脉冲的形状, 这种特征表明干扰影响程度取决于干扰信号频率^[2], 干扰信号频率与接收机调谐频率 F_0 间的间隔愈大, 对接收质量影响愈小。由于接收机前端有非线性器件(如低噪放大器、混频器等), 如在超外差接收机中, 干扰信号会穿过基本通道、额外(寄生)通道,

再到达中频通道输出; 而寄生通道的频率与中频频率和镜像信号频率直接相关, 这又意味着接收机除了自身工作频段以外, 还有其他一些特殊敏感的频段(如镜像频率等)。

星上大功率发射机的主要功能是产生规定频段内的高功率射频信号。由于射频收发设备存在一些中间频率(如本振信号频率、中频频率或者是抑制度不够好的乱真谐波信号频率), 会出现射频泄漏。

综上所述可知, 由于收发设备系统中存在干扰源, 在频谱兼容分析中, 必须先确认星上大功率发射机功率频谱上的强信号是否落入接收机的工作频段及其他特殊敏感频段, 避免出现工作频段的重叠。

典型的接收机和发射机工作原理如图 1 所示。

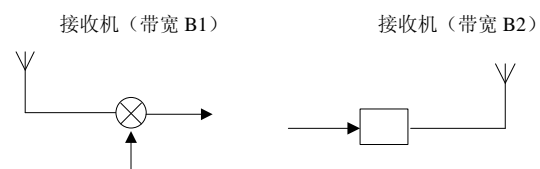


图 1 发射机和接收机工作原理图
Fig. 1 Transmitters and receivers

图 1 中: F_{RX} 为接收机工作频率; F_{L1} 为接收机本振频率; F_{T0} 为发射机的晶振频率; F_{TX} 为发

收稿日期: 2009-02-24; 修回日期: 2009-07-28

作者简介: 周丽萍(1978-), 女, 从事电磁兼容性设计与检测工作。联系电话: (010) 68747224。

射机工作频率; F_I 为接收机中频接收频率。在接收机中, 工作信号通过混频器和本振信号相混后进入中频接收机继续下一段放大处理, 输出 F_I 信号。在发射机中, F_{T0} 信号经过几次倍频放大后, 输出 F_{TX} 发射信号。由于发射信号的输出功率很大, 由此所引起的谐波信号的功率也较大, 所以发射机的工作频率及谐波信号频率是主要考虑的干扰源。在实际工程应用中, 由于接收机的本振信号能量较大, 也是不能忽视的干扰源, 所以也需要把本振信号当作潜在干扰源来处理。

2.2 卫星频谱分析的思路

接收机受扰的一种情况可用公式(1)模拟, 即

$$F_I = m \times F_{Dis} \pm n \times F_{L0}, \quad (1)$$

式中: m 和 n 为自然数; F_{Dis} 为干扰信号频率; F_{L0} 为接收机本振信号频率。

当干扰信号频率 F_{Dis} 与接收机本振信号频率 F_{L0} 在非线性器件(混频器、预放器等)上产生新的信号频率刚好落入接收机 F_I 带内时, 使得接收机可能受扰。

接收机受扰的另一种情况可用公式(2)模拟, 即

$$F_{Rec} = m \times F_{Dis1} \pm n \times F_{Dis2} \pm k \times F_{Dis3}, \quad (2)$$

式中: k 为自然数; F_{Rec} 为敏感接收机的接收频率; F_{Dis1} 、 F_{Dis2} 和 F_{Dis3} 为 3 个强功率发射信号频率。

当卫星上有 2 个或者 3 个强功率发射信号时, 整星测试时很有可能在非线性器件上产生出互调信号频率落入敏感接收机的接收频率 F_{Rec} 带内, 使得接收机可能受扰。

卫星频谱分析工作首先应整理卫星上的射频设备信息, 收集接收机和发射机频率使用的具体信息, 包括接收机的工作原理、接收带宽、第一(或第二)本振信号、中频带宽, 发射机的发射频率、带宽、调制类型、调制频率等; 而后建立星上各个接收机和发射机的工作模型。根据以上描述的两种情况, 将各个发射机和接收机的工作模型考虑进来分析(注意: 如果接收机的本振信号电平过大的话,

也可以当作干扰源来对待), 找出所有潜在的干扰对; 针对这些干扰对, 通过分析干扰产生路径以及已经收集到的单机产品的电磁兼容性测试结果, 最后给出发生干扰概率较大的干扰对作为频谱分析报告的结论。

3 频谱分析工作应重点关注的几种情况

通过对目前已经完成的几个卫星型号频率分析以及电磁兼容分析的工作总结, 在频谱分析时应重点关注以下几种情况:

(1) 针对星上有多个发射机的情况, 需要考虑若干发射信号互调对敏感接收机的影响。在某整星电磁兼容测试过程中, 就发现有载荷的若干个发射频率互调后经过地面检测设备的非线性器件所产生的干扰信号致使其他接收机发生了锁定的情况, 影响接收机的正常工作。

(2) 针对星上发射机发射大功率信号的情况, 需要考虑其带外杂波信号对工作频段附近的其他接收机的影响。当卫星射频设备较多时, 虽然收发设备的工作频段并不相同, 但如果其中某台发射机的发射功率较大(如 43 dBm), 在工作频率以外的较宽范围内存在干扰信号(假定带外抑制信号功率为 100 dB, 仍有 -57 dBm 的干扰能量), 该干扰能量对灵敏接收机来说, 仍是不容忽视的。

(3) 针对星上特殊敏感接收机(如 UHF 频段接收机)的情况, 接收机工作频段的信号波长与星上电缆尺寸接近, 意味着其更易于射频干扰的传输, 一旦星上单机产品的辐射发射在 UHF 频段控制不好, 将直接进入敏感的 UHF 接收机。

4 频谱分析软件简介

本章节介绍的是一个频谱分析软件, 此软件主要针对公式(1)所指的干扰情况, 对系统各发射机与接收机的工作频段分析计算, 直接给出可能出现的干扰对。在分析中, 重点要确认发射机所产生的干扰频率是否落入接收机的特殊敏感频段。此软件以 LabView 为开发平台, 图 2 为收发设备频率信息的输入界面, 图 3 为计算结果干扰对的输出界面。

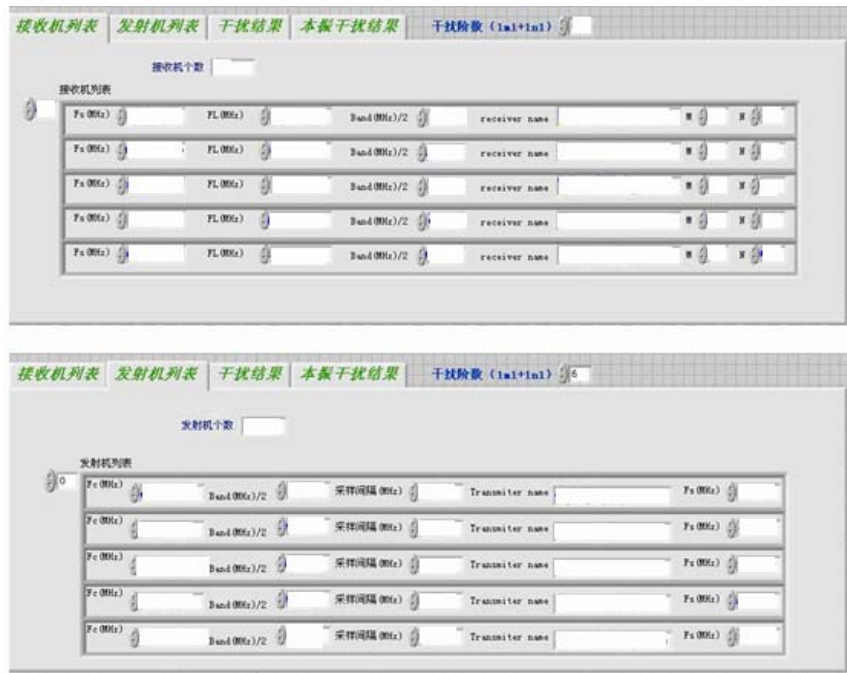


图2 软件输入界面

Fig. 2 The input interface of the software

在输入界面中，“接收机列表”属性页主要输入需要重点考虑的星上各接收机工作信息，包括接收信号频率 F_S (MHz)、本振频率 F_L (MHz)、二分之一工作带宽 (Band (MHz) / 2)、接收机代号以及接收机的混频器模式（例如，当 $F_I=1 \times F_{Dis}-2 \times F_{L0}$ 时，则 $m=1$ ， $n=-1$ ）。“发射机列表”属性页主要输入需要重点考虑的星上发射机工作信

息，包括发射机载波频率 F_C (MHz)、二分之一工作带宽 (MHz)、采样间隔 (MHz)、发射机代号以及调制信号带宽 F_S (MHz)，其中采样间隔是将发射机使用频率分成若干个采样点，经组合线性计算后分别同接收机的信息做循环比对，原则上采样间隔取值应当尽量小（如小于前面输入的接收机最小中频带宽的十分之一），以免遗漏掉潜在干扰对。



图3 软件输出界面

Fig. 3 The output interface of the software

在输出界面中,“干扰结果”属性页主要输出的计算结果是干扰对个数,方便用户到“干扰类型分组”中查找“干扰结果”,例如,当 $F_1=2 \times F_{\text{Dis}}-1 \times F_{\text{Lo}}$ 时,则 $m=2$, $n=-1$,同时给出接收机代号和干扰源代号,以及干扰源频率 (MHz)。同样,“本振干扰结果”属性页主要输出的计算结果是本振干扰对个数,例如,当 $F_1=5 \times F_{\text{Dis}}-1 \times F_{\text{Lo}}$ 时,则 $m=5$, $n=-1$,同时给出接收机代号和干扰源代号(另一台接收机的本振信号),以及干扰源频率 (MHz)。

5 结束语

文章针对星上收发设备,在卫星电磁兼容分析

的工作前期主要采用工作频率干扰对组合方式进行分析,有效地对本振泄漏、镜像干扰、谐波干扰、互调干扰等潜在的设备间干扰源进行分析,是系统级电磁兼容分析工作的基础。通过频谱兼容分析能有效地指导卫星电磁兼容控制,对星上某些单机产品电磁兼容试验结果超差等问题可提供分析验收判断依据以及改进的方向。

参考文献 (References)

- [1] 陈淑凤. 航天器电磁兼容技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007-03
- [2] 林国荣. 电磁干扰及控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003-06



美国 Aitech 公司推出星载高性能防辐射单片机

美国 Aitech 防务系统公司是世界上最大的开放架构电路板和子系统级产品独立制造商,其产品主要用于严酷环境下的防务和宇航领域。该公司日前在英国防务展上推出了一种增强型 1 GHz 的天基 S950 3U CompactPCI 防辐射单片机 (single board computer, SBC)。

这种单片机采用了高性能 PowerPC 750GX 处理器和硅绝缘体 PowerPC 技术,利用半导体制冷,具有较高的处理能力和数据吞吐速度,功耗极低,仅不到 10W,同时拥有可配置处理器的速度和更强的防辐射性能,其抗辐射性能超过 15 krad (Si 型)。该高可靠性单片机主要用于空间领域,其单粒子翻转 (single event upset) 几率较低,即使在最糟糕的太阳耀斑和南大西洋扰动的情况下,在低轨道运行中的单粒子翻转几率低于 900 d^{-1} 。对于在严酷环境下使用的重要任务系统来说,如冗余任务计算机、飞行制导和导航计算机、命令和数据处理计算机、固体记录器、视频控制器以及处理控制器等这种单片机是一种理想选择。

Aitech 公司还为 ATK 公司的“战术卫星-3” (Tactical Satellite-3) 星载天基系统响应空间模块化总线开发出了一种低功耗、防辐射 3U CompactPCI 半导体制冷总线电子设备卡。“战术卫星-3”质量不到 400 kg,于今年 5 月发射成功,验证了第一代模块化总线具有可用于未来小型卫星任务的适应能力。

Aitech 公司 CEO Roger Rowe 对此评论道:“军事行动越来越依赖于从空间获取实时数据并直接传输给相关人员,同时必须保证不超出预算且按进度交付。这就需要一种经济可承受的、灵活的、能够长时间在严酷环境下运行的器件,并且能以较高的效费比进行设备或系统升级,以满足未来天基任务响应的需求。”

(摘自 2009-09-08 中国军网)