

卫星天线及微波器件大功率微放电试验技术

张晓平, 雷冀

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 卫星天线及微波器件在多载波工作时具有很高的瞬时功率, 面临着大功率微放电的危险。文章针对卫星天线及微波器件在多载波输入下的工作状态, 对天线及器件内的峰包功率量值进行了分析计算, 得到了进行大功率微放电试验所需的功率量级, 并提出了多载波状态下微放电试验的设备配置方案, 为后续试验工作打下了基础。

关键词: 卫星天线; 微波器件; 微放电; 地面试验

中图分类号: V443.4; TN62; V416.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2008)06-0516-03

1 前言

随着卫星研制技术水平的不断提高, 卫星天线及微波器件的工作频率不断提高, 所要求的射频(RF)功率也不断增加。射频大功率的应用对卫星天线及微波器件的安全工作提出了新的更高的要求, 尤其在多载波工作条件下, 合成峰包功率量级非常高。如何设计大功率微放电试验设备, 通过适当的地面大功率微放电试验验证卫星天线及微波器件的工作安全性, 对保证设备在轨工作正常具有十分重要的意义。

过去国内技术人员对多载波状态下合成峰包功率的量级认识不足, 因此所提出的微放电试验功率要求也比较低, 这样所进行的微放电试验就不能达到验证试验的目的。经过对国外微放电相关参考文献的学习和研究, 国内技术人员对多载波工作状态的危险性认识逐步提高, 对多载波工作的卫星天线及微波器件的工作安全性颇为担忧。解决问题的方法一是增大微放电设计余量, 二是进行充分的大功率微放电地面模拟试验, 保证卫星天线及微波器件的在轨安全工作。

2 卫星天线及微波器件多载波工作状态分析

卫星天线及微波器件在多载波工作状态下, 通常不同工作频率的多路信号通过微波多工器合成,

合成信号直接馈入天线馈源系统, 通过微波天线辐射出去。合成峰包功率的量级是问题的关键, 也是进行大功率微放电试验的基本依据。在此峰包功率基础上, 增加 3~6 dB 余量, 进行大功率微放电试验系统的设计。过去提出多载波峰包功率量级为 $n^2 P_i$, 其中 P_i 为多载波每一路的载波功率, 而且认为该多载波峰包功率出现的可能性比较低, 其危害程度并未引起技术人员的足够重视。为降低大功率微放电地面试验的难度, 一般考虑多载波合成功率率为 $2nP_i$, 在此基础上增加 3~6 dB 余量, 进行大功率微放电试验。

举例说明如下: 三路载波, 每路 60 W 输入, 多载波峰包功率量级为 $n^2 P_i=540$ W, 为降低试验难度, 按 $2nP_i=360$ W, 大功率微放电试验按 720~1440 W 功率进行即可。

根据新查阅的国外微放电试验资料^[1], 多载波合成功率量级为 $2nP_{av}$, 其中 P_{av} 为多载波多路合成功率率的总平均功率, 而且认为该合成功率率峰包是必然出现的。这个论点引起设计人员的高度重视, 为此我们进行了理论推导计算, 并画出了 12 路载波的合成功率率幅度随时间变化的曲线(如图 1 所示), 与资料给出的结果完全一致。改变各路载波的初始相位, 多载波合成峰包仍按照固定的时间周期出现; 对于不同的初始相位, 曲线只是沿时间轴左右移动。

收稿日期: 2008-09-11

作者简介: 张晓平(1964-), 女, 高级工程师, 目前从事天线测试工作。联系电话: (010) 68744017。雷冀(1970-), 男, 硕士学位, 高级工程师, 目前从事天线设计工作。联系电话: (010) 68747207。

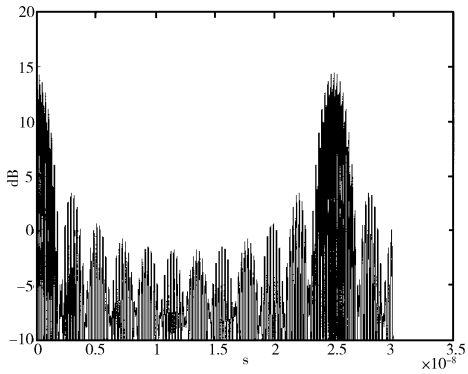


图1 12路载波的合成功率幅度随时间变化的曲线
Fig. 1 The combined power level of 12 carriers versus time

现对多载波合成峰包功率量级推导如下：设多载波各路信号均为等幅、不同初始相位、不同频率的信号，各路信号瞬时电压为

$$U_i = A \cdot \cos(\omega_i t + \Delta\varphi_i), \quad (1)$$

瞬时功率为

$$P_i = A^2 \cdot \cos^2(\omega_i t + \Delta\varphi_i) / R, \quad (2)$$

则合成信号电压幅度为

$$\sum U_i = n \cdot A, \quad (3)$$

合成信号峰包功率幅度为

$$P_K = n^2 \cdot A^2 / R, \quad (4)$$

合成信号的平均功率幅度为

$$P_{av} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{T} \int_0^T A^2 \cdot \cos^2(\omega_i t + \Delta\varphi_i) / R = n \cdot A^2 / 2R; \quad (5)$$

因此有

$$P_K / P_{av} = (n^2 \cdot A^2 / R) / (n \cdot A^2 / 2R) = 2n, \quad (6)$$

即多载波合成峰包功率量级为

$$P_K = 2nP_{av}. \quad (7)$$

进行大功率微放电地面模拟试验，若仍按三路载波，每路 60 W 输入，则实际出现的多载波峰包功率量级为 $2nP_{av}=1\ 080\ W$ 。考虑应在此基础上，增加 3~6 dB 余量，因此大功率微放电试验需按 2 160~4 320 W 功率进行。

3 大功率微放电试验的必要性

根据上述多载波合成峰包功率量级的分析，多载波合成峰包功率量级非常高，因此确定各路载波

到微波多工器的实际损耗量非常重要。应在扣除损耗后，按照 $P_K=2nP_{av}$ 计算实际的多载波合成峰包功率量级，再进行大功率微放电试验系统的设计与试验。

在明确认识了多载波合成峰包功率量级后，我们不禁对多载波状态下卫星天线、微波器件的工作安全性甚为担忧，而且要实现如此大功率的微放电试验又谈何容易。但是多载波合成峰包功率量级如此之高，如果不进行充分的大功率微放电试验，则无法保证卫星天线、微波器件的在轨正常工作。国外针对多载波状态进行大功率微放电试验值得借鉴。

4 大功率微放电试验的方案

借鉴国外资料，我们给出了相应大功率微放电试验的设计方案。卫星天线大功率微放电试验的原理框图如图 2 所示，微波器件大功率微放电试验的原理框图如图 3 所示，微波双工器或多工器的大功率微放电试验的原理框图如图 4 所示。

对卫星天线的大功率微放电试验，基本试验方案是采用两路或多路不同频率载波信号，经双工器或多工器合成的方法，获得比较高的微波峰值功率。试验过程中通过监测合成信号入射、反射平均功率变化情况及真空容器外接收天线在两个载波频率上接收电平的变化情况，确定微放电现象的发生与否。

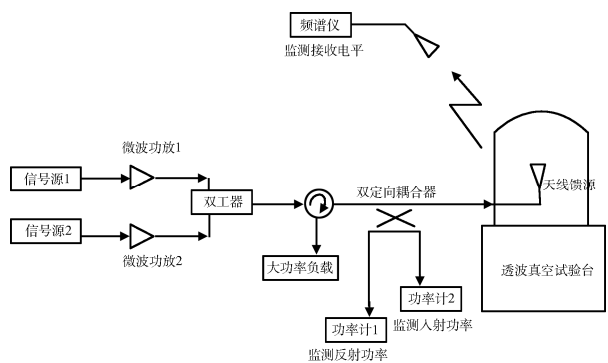


图2 卫星天线大功率微放电试验原理框图

Fig. 2 Block diagram of high power multipactor discharge test for satellite antenna

对微波器件的大功率微放电试验，基本试验方案是采用两路或多路不同频率载波信号，经双工器或多工器合成的方法，获得比较高的微波峰值功率。还可以通过输出端接滑动短路器的方式，进

一步提高 6 dB 的试验功率；同时，在试验过程中，调节滑动短路器的位置，使所形成的驻波点位置移动，考核微波器件各个敏感点的大功率承受能力。若输出端接大功率负载，试验过程中可通过监测合成信号入射、反射平均功率变化情况，确定微放电现象的发生与否。若输出端接滑动短路器，在试验过程中可以设法进行谐波监测，也可以在试验后测试试件 S 参数，确定试件是否损坏。

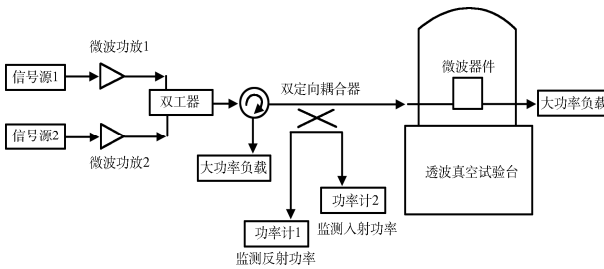


图3 微波元件大功率微放电试验的原理框图

Fig. 3 Block diagram of high power multipactor discharge test for microwave components

对微波双工器或多工器的大功率微放电试验，基本方案是采用两路不同频率载波信号输入，在每路载波信号基础上，增加 3~6 dB 脉冲信号，脉冲占空比在 2%~10%之间可调。还可以通过输出端接滑动短路器的方式，进一步提高 6 dB 的试验功率；同时，在试验过程中，调节滑动短路器的位置，使所形成的驻波点位置移动，考核微波器件各个敏感点的大功率承受能力。若双工器端接大功率负载，试验过程中可通过监测每路输入信号的入射、反射平均功率变化情况，确定微放电现象的发生与否。为提高监测灵敏度可进一步将入射、反射功率送调零单元，调整调零单元的幅度、相位，可获得

-60 dB/m 以下的调零结果，通过频谱仪进行调零信号的监测。若双工器端接滑动短路器，在试验过程中可以设法进行谐波监测，也可以在试验后测试试件 S 参数，确定试件是否损坏。另外，缩小输入各路不同频率信号的频率间隔，可使所形成峰包功率的峰值持续时间增加，进一步加强地面试验的考核能力，使地面试验更充分有效。

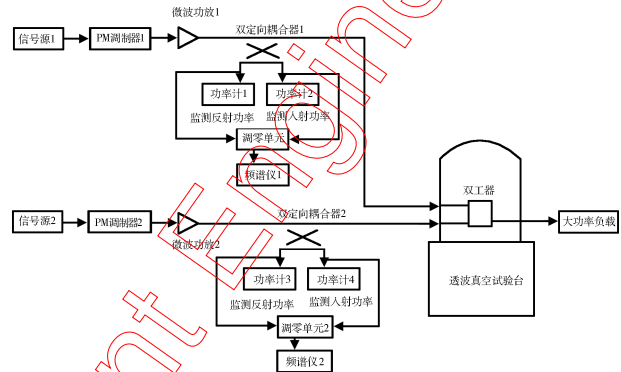


图4 微波双工器或多工器的大功率微放电试验的原理框图

Fig. 4 Block diagram of high power multipactor discharge test for microwave diplexer or multiplexer

5 致谢

在大功率微放电试验的研究及测试设备的研制过程中，作者得到了中国空间技术研究院总体设计部老专家们的积极指导与帮助，在此表示深深的感谢。对参与大功率微放电试验的研究及测试设备研制工作的同志也一并表示感谢。

参考文献 (References)

- [1] Rozario N, Lenzing H F, Reardon K F. Ku-band and C-band antenna components for multipactor breakdown. [C]// IEEE MTT, 1994