文章编号:1001-893X(2011)03-0098-04

微波测试系统中开关网络的设计与实现*

任宇辉,昂正全

(北京航天飞行控制中心,北京 100094)

摘 要:设计了一种适用于地面站微波测试系统中的信号传输开关网络。基于开关网络的拓扑结构设计,不仅可实现测量仪表对被测系统多测试点和多路径的接入,还可通过测试电缆分组环接测量再用 方程组求解的方法,实现测试电缆方便而精确的标校。另外,开关网络可通过局域网远程控制,并能方 便地集成在整个测量系统中。实际测试结果表明,该开关网络的设计具有很强的灵活性和可靠性。 关键词:测控系统;地面站:微波测试:开关网络;电缆标校

中图分类号:TN927 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.03.022

Design and Implementation of a Switch Network for Microwave Test System

REN Yu-hui, ANG Zheng-quan

(Beijing Aerospace Command and Control Center, Beijing 100094, China)

Abstract: A switch network for signal transmission test is designed which is suitable for microwave test system in ground station. Based on the design of switch network topologic structure, not only multi – access connection is implemented between instrument and tested system but also test cable calibration is implemented easily and accurately by measuring looped cables group by group before solving equations. The switch network controlled remotely by Local Aera Network(LAN) can be integrated in the test system easily. The test results show that the design has strong agility and reliability.

Key words: TT&C system; ground station; microwave test; switch network; cable calibration

1 引 言

地面站是卫星测控、通信系统的重要组成部分, 其中的链路系统是微波信号传输、变换、放大过程的 关键环节,其性能的好坏直接决定地面站完成业务 的能力^[1]。因此,地面站在建立、使用以及维护过程 中,均需要对其链路系统的性能指标进行测试。

系统常用的微波测试项目包括信号电平、幅频 响应、相位噪声等十余种^[2]。在测试过程中,传统的 接入方法是将测量仪表通过测试电缆与被测系统的 各个测试点直接连接从而完成测试信号的注入和提 取^[3-4]。这种接入方法存在两个明显的缺点。其 一,被测系统往往存在多个测试点,为了接入到这些 测试点必须要经常更换测试电缆的连接位置,即便 使用很多测试电缆亦不可避免,因为多数仪表对应 不止一个测试点。频繁更换测试电缆的连接位置不 仅费时费力(对位于天线上的测试点尤其明显),而 且对于传输高频率信号的测试电缆,这种反复的拆 接以及由此引起的形变将会改变测试电缆的插入损 耗,从而影响测量精度。其二,测试电缆在完成布线 后其标校将会很困难且不易保证精度,特别是位于 天线和射频机房之间的射频测试电缆,不仅距离长 而且传输的信号频率高。

^{*} 收稿日期:2010-10-09;修回日期:2011-02-17

本文提出了一种新的测试信号接入方法,设计 了一个由数个同轴转换开关和测试电缆组成的开关 网络,在测试过程中仪表通过开关网络接入到被测 系统,解决了传统接入方法存在的问题。

2 开关网络的结构设计

如图 1 所示,开关网络由位于天线 HUB 箱内的 开关单元(HSU)、射频机房内的开关单元(RSU)和主 控机房内的开关单元(ISU)三部分组成。



图 1 开关网络的结构及在测试系统中的位置 Fig.1 Structure of switch network and testing system

2.1 射频测试电缆的标校







图 1 及图 2 中: Ca1、Ca2、Ca3 为 3 根射频测试电 缆,每根电缆的一端接在 HSU 相关位置上,另一端 接到射频机房内的 RSU 相关位置上; P1、P2、P3 为 3 个测试连接点,可接到图 1 中位于天线 HUB 内的 3 个测试点上; S1、S2、S3 为 3 个射频同轴开关,每个 开关有 0 和 1 两个位置,对应两种连接方式。

(1)通过图 2 中 3 个开关的适当切换可实现

Ca1、Ca2、Ca33根测试电缆之间的环接。

设 HSU 的开关向量:

$$S_{\rm HSU} = (S1, S2, S3)$$
 (1)

S = (1,0,*x*)时,可实现 Cal 与 Ca2 的环接(*x* 表示任 意位置),记作 Cal + Ca2;同理:

- $S = (1,1,1), \rightarrow Ca1 + Ca3;$
- $S = (0,0,0), \rightarrow \text{Ca}2 + \text{Ca}3_{\circ}$

(2)3 根测试电缆可以方便实现标校。

可以在 RF Room 内配置仪表,当 Ca1 + Ca2 时, 从 Ca1 或 Ca2 一端注入测试信号(设电平为 d_{in}),从 Ca2 或 Ca1 端接收信号(电平为 d_{out})。则令

$$f_1 = d_{\rm out} - d_{\rm in} \tag{2}$$

*f*₁就是 Ca1 和 Ca2 级联在一起的衰减值。同理,可得 Ca1 + Ca3 和 Ca2 + Ca3 的结果,这样可得到一个方程组:

$$\begin{cases} Ca1 + Ca2 = f_1 \\ Ca1 + Ca3 = f_2 \\ Ca2 + Ca3 = f_2 \end{cases}$$
(3)

解此方程组就可得到 Ca1、Ca2、Ca3 各自的衰减值, 从而可以方便地实现测试电缆的标校。

2.2 测试信号的接入

整个开关网络的状态可用一个统一的开关向量 表示:

S = (*S*1,*S*2,*S*3,*S*4,*S*5,*S*6,*S*7,*S*8,*S*9) (4) 向量 *S* 的不同取值对应不同的测试信号接入 路径,如表1所示。

表1 信号接入路径表

Table 1 Signal access circuit		
开关向量值	接入路径	
S = (1, 1, 0, 1, 0, 1,	IF信号源→Ca5→T1→上行系统→	
0,1,0)	C6→Ca1→频谱仪 1	
S = (0, 0, 1, 1, 1, 1, 1,	IF信号源→Ca5→T ₁ →上行系统→	
1,1,0)	C6→Ca2→频谱仪 1	
S = (0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,	IF信号源→Ca5→T₁→上行系统→	
0,1,0)	C6→Ca3→频谱仪 1	
S = (0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)	RF信号源→Cal→Cl→下行系统	
	→T2→Ca4→频谱仪 2	
	RF 信号源→Ca1→C1→LNA→C4	
	→Ca2→频谱仪 1	
	RF信号源→Cal→Cl→下行系统	
S = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1)	→T2→Ca4→频谱仪 2	
	RF 信号源→Ca1→C1→LNA→C4	
	→Ca3→频谱仪 1	
	RF信号源→Ca3→C1→下行系统	
S = (1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1)	→T2→Ca4→频谱仪 2	
	RF 信号源→Ca3→C1→LNA→C4	
	→Ca2→频谱仪 1	

由此可以看出,通过开关网络不仅可以实现对 被测系统多个测试点的接入(如图1所示),而且还 可以实现多路径的接入(如表1所示)。

3 开关网络的硬件设计与实现

以HSU为例给出其硬件设计结构图,如图3所示。



图 3 HSU 的硬件结构 Fig. 3 Hardware structure of HSU

其它两部分开关单元 RSU 及 ISU 与之类似,只 是开关数量不同。本系统选用的开关为微波同轴转 换开关,其原理见图 4,开关有 0 和 1 两种状态。J1、 J2、J3、J4 为微波信号线,A、B 为控制线,D、E 为状态 线,C 接 24V 电源,F 接地。



Fig.4 Coaxial switch structure

控制方法如下,当开关处于状态 0 时,控制线 A 为悬空0 V,控制线 B 为悬空24 V,状态线 D 为接地 低电平,状态线 E 为悬空高电平。给控制线 B 一个 大于20 ms的接地脉冲,此时开关变为状态 1,控制线 A 为悬空24 V,控制线 B 为悬空0 V,状态线 D 为悬 空高电平,状态线 E 为接地低电平。反之亦然。需 要注意的是,控制开关时控制线 A 或 B 的接地电阻 必须小于50 Ω,开关才能正常动作。

开关控制器采用研华公司的一款型号为 ADAM6052的基于 Ethernet 的数据采集和控制模块。 设计参数如下:

(1)I/O 类型:8 DI/ 8 DO;

(2)数字输入:

干接点:逻辑0:接地,逻辑1:开路;

湿接点:逻辑 0: + 3V(最大),逻辑 1: + 10~30 V 直流:

(3)数字输出:源类型:24 V DC,1 A;

(4)隔离电压:2000 V DC;

(5)电源要求:未调理+10~30 V;

(6)功耗:2 W。

单元采用 24 V 开关电源驱动。以上部件可封装在一个小型机箱内,各开关控制器通过交换机连接到站内局域网(LAN)中,可由任意接入到 LAN 的计算机控制^[5]。图 1 亦展示了这种基于 LAN 的连接结构。

4 测试结果

给出了在一次实际测试中应用该开关网络标校 测试电缆的过程及结果,见表 2 中的 1~6 项。为了 比较测试结果,事先用网络分析仪标定了 3 根测试 电缆的衰减,作为已知值,见表 2 中的第 7 项。从表 中的第8项可以看出,实测值和已知值的误差均在 ±0.5 dB以内,完全满足工程现场测试。

表 2 测试电缆标校效果对照表

Table 2 Test cables calibration result

步骤	参数	值
的主会	信号源1频率/GHz	6
	信号源1标称功率/dBm	- 10
	频谱仪中心频率/GHz	6
以 农	频谱仪频率范围/kHz	500
<u>纵风且</u>	频谱仪分辨带宽/kHz	10
	频谱仪视频带宽/Hz	300
	频谱仪参考电平/dBm	- 16
	H201/dB	-0.88
	LOSS - RSU - SIG1 - SW4 - SW5 -	-6.33
信号源	SW6 - SW7 - SP/dB	0.55
1 校准	H210/dB	-0.98
	频谱仪读数/dBm	- 17.33
	信号源 1 实际功率/dBm	-9.14
	H201/dB	-0.88
	LOSS – RSU – SIG1 – SW4 – CA1/dB	- 5.21
	LOSS - RSU - CA2 - SW5 - SW7 -	- 1.27
标校	SP/dB	
Ca1 + Ca2	LOSS - HSU - CA1 - SW1 - SW2 -	- 1 20
	CA2/dB	1.20
	H210/dB	-0.98
	频谱仪读数/dBm	- 47.43
	LOSS - Ca1 + Ca2/dB	- 28.75
	H201/dB	- 0.88
	LOSS - RSU - SIGI - SW4 - CAI/dB	- 5.21
	LUSS - RSU - CA3 - SW6 - SW5 - SW4 - SW7 - SW5 - SW7 - SW5	-2.41
标校	Sw4 – Sw6 – Sw7 – SP7 dB	
Ca1 + Ca3	LOSS - HSU - CA1 - SW1 - SW2 -	-2.02
	SW3 - CA3/dB	0.00
	H210/dB	- 0.98
	则谙仅误数/dBm LOSS C-1、C-2/JD	-4/.1/
	H_{201}/dB	- 20.35
后林	LOSS DELL SIC1 SWA SW5	-0.88
	L055 - R50 - 5R61 - 5w4 - 5w5 - CA2/dB	-6.12
	LU55 - R50 - CA3 - Sw0 - Sw5 - Sw7 - SD/JD	-2.03
$f(x) \neq f(x)$		
Ca2 + Ca3	LOSS - HSU - CA2 - SW2 - SW1 - SW2 - CA2 / ID	- 1.86
	SW3 - CA3/ dB	0.00
	H210/dB 蛎泷似志粉/JD	- 0.98
	妙盾仅读数/dbm LOSS = Co2 + Co3/dB	- 47.85
	LOSS = Cable = CA1 = 6C/dB	-20.82 -14.23
计算值	LOSS - Cable - CA2 - 6G/dB	- 14 . 52
川开阻	LOSS - Cable - CA3 - 6G/dB	- 12.30
	LOSS - Cable - CA1 - 6G/dB	- 14.12
已知值	LOSS - Cable - CA2 - 6G/dB	- 14.94
	LOSS - Cable - CA3 - 6G/dB	- 12.78
计算值	d – Ca1/dB	-0.11
与已知	d – Ca2/dB	0.42
值的差	d – Ca3/dB	0.48

5 结 论

本文设计并实现了一种应用在地面站微波测试 系统中的开关网络,解决了测试过程中对被测系统 多测试点接入和测试电缆标校问题。使用该开关网 络的自动测量系统进行了实际的工程测试,测试结 果表明,该开关网络的应用极大地提高了测试工作 效率,保证了测试的精度。

参考文献:

[1]	丹尼斯·罗迪.卫星通信[M].北京:人民邮电出版社, 2002.
	Dennis Roddy. Satellite Communication [M]. Beijing; People's
	Posts & Telecommuniations Press, 2002. (in Chinese)
[2]	殷琪.卫星通信系统测试[M].北京:人民邮电出版社, 1997.
	YIN Qi. Satellite Communication System Test [M]. Beijing: Pe-
	pole's Posts & Telecommuniations Press, 1997. (in Chinese)
[3]	罗伯特 A 威特.频谱与网络测量[M].北京:科学技术 文献出版社,1997.
	Robort A Witte. Spectrum and Network measurements [M]. Bei-
	jing: Science and Technology Document Press, 1997. (in Chinese)
[4]	秦红磊.自动测试系统:硬件及软件技术[M].北京:高
	等教育出版社,2007
	QIN Hong - lei. Automatic Testing Systems: Hard & Software
	Technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007. (in
	Chinese)
[5]	王先培.测控总线与仪器通信技术[M]. 北京:机械工
	业出版社,2007.
	WANG Xian - pei. Communications Technology of Measure-
	ment and Control Bus for instrumentations[M]. Beijing: China
	Machine Press, 2007.(in Chinese)

作者简介:

任**宇辉**(1978-),男,吉林白城人,2006 年获硕士学位, 现为工程师,主要研究方向为航天测控通信;

REN Yu – hui was born in Baicheng, Jilin Province, in 1978. He received the M.S. degree in 2006. He is now an engineer. His research direction is aerospace TT&C communication.

Email: renyuhui000@sina.com

昂正权(1982-),男,安徽肥东人,工程师。

ANG Zheng – quan was born in Feidong, Anhui Province, in 1982. He is now an engineer.