

文章编号: 2095-4980(2019)01-0064-05

基于卫星测试的多路信号产生技术

钟良玉, 郝时光, 宋志操

(中国空间技术研究院 通信卫星事业部, 北京 100094)

摘 要: 为全面验证通信卫星有效载荷的功能和性能, 整星综合测试时需要能产生包括通信信号或雷达信号的信号源, 需求信号带宽常超出通用信号源的能力范围。经过研究, 利用任意波形发生器(AWG)和矢量信号发生器, 可以产生满足测试需求的信号。在充分分析通信卫星有效载荷测试需求的基础上, 以 M8190A 和 E8267D 为硬件平台, 使用 LABVIEW 软件环境搭建出“波形生成与设备控制软件”, 形成多路信号产生系统。为验证系统的正确性, 模拟产生三种测试情景下的复杂信号, 经实验测试分析, 所产生信号均满足设计要求。此方案能用于通信卫星有效载荷综合测试中, 满足其使用需求。

关键词: 任意波形发生器; 多路信号; 有效载荷; 通信卫星

中图分类号: TN830.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201901.0064

Producing multiple signals for satellite's testing

ZHONG Liangyu, HAO Shiguang, SONG Zhicao

(Institute of Telecommunication Satellite, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: A signal generator which could generate communication signal and radar signal is required in order to verify the function and capability of payload of communication satellite. The span of desired signals cannot be met by ordinary signal generator, nevertheless. The signals can be generated by using Arbitrary Waveform Generator(AWG) and vector signal. Based on the analysis of communication satellite's needs, a multiple-signal producing system is fulfilled by the hardware of M8190A and E8267D; and LABVIEW software is adopted to establish the software platform of waveform generator and equipment controlling. Three kinds of complex signals are produced and tested to validate the multiple-signal producing system. The system can be applied in the testing of communication satellite.

Keywords: Arbitrary Waveform Generator; multiple-signal; payload; communication satellite

通信卫星整星测试时, 需要加信号验证有效载荷的功能和性能, 但是所加信号的形式不再局限于常见的通信信号类型, 而是包括通信信号和雷达信号, 并且信号数量大于等于一路、甚至数十路不同类型信号。如果所需要信号形式在通用信号源仪器产生能力范围之内, 可以采用将多台信号源经合路器连接后输出, 这种方式成本高, 所能产生信号类型不够灵活。经过研究, 使用任意波形发生器(AWG)^[1-8]和矢量信号源, 可以产生满足信号类型、带宽、频率的多路信号, 本文结合通信卫星有效载荷使用需求, 使用高性能任意波形发生器 M80910A 和矢量信号源 E8267D, 在“波形生成与设备控制软件”的控制下, 灵活产生多种测试场景需求信号, 对所产生信号进行分析, 均满足测试要求。

1 多路信号产生方案

使用 AWG 可以产生灵活复杂多变的多路信号, 其原理框图如图 1^[1]所示。AWG 采用可变的取样时钟和分段的波形存储器, 它由取样时钟发生器、地址发生器、内存单元、高速 D/A、低通滤波器、放大器、编辑器和程控接口等部分组成。AWG 通过地址发生器改变波形存储器的地址, 顺序扫过波形存储器的地址直到波形段的末段, 地址中的数据被送至高速 D/A, D/A 后的信号经过低通滤波器进行滤波, 最后送放大器输出。通信卫星测试时, 常用频率范围 2~25 GHz, 单独使用 AWG 不能产生该频段范围的信号, 需要使用外部矢量信号调制器

收稿日期: 2017-06-18; 修回日期: 2018-01-15

才能满足要求。

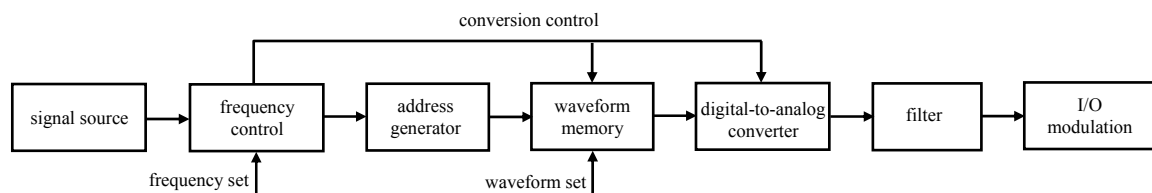


Fig.1 Working principle of Arbitrary Waveform Generator

图 1 任意波形发生器工作原理图

通信卫星有效载荷测试时信号需求分析表如表 1 所示。表中的信号类型包括通信信号和雷达信号，信号路数多达 28 路，多路信号的动态范围为 64 dB，信号频率范围为 2~25 GHz，单路信号输出功率为-90~15 dBm。

表 1 通信卫星有效载荷测试信号类型需求表

Table1 Signal needs of communication satellite' testing

type of communications satellite	required signal type	number of signal channels	frequency range	signal power range
communications satellite for transparent repeater	AM, FM, CW	2	maximum up to 25 GHz	-90~15 dBm
reconnaissance communications satellite	BPSK, QPSK, FSK, AM, FM, conventional pulses, Pulse Repeated Interval(PRI) stagger, PRI dither, frequency agile, frequency coding, linear frequency modulation, nonlinear frequency modulation, Buck code	8	maximum up to 21 GHz	-90~15 dBm
interstellar link communication satellite	AM, FM, CW, wide bandwidth signal, OFDM, spread spectrum signal	2	maximum up to 25 GHz	-90~15 dBm
mobile communications satellite	AM, FM, CW, wide bandwidth signal, OFDM	28	maximum up to 10 GHz	-90~15 dBm, maximum signal dynamic range 64 dB

为了满足以上要求，硬件采用安捷伦任意波形发生器 M8190A、矢量信号源 E8267D，使用 NI 的 LABVIEW 软件产生信号波形，系统方案如图 2 所示。

M8190A 是安捷伦公司推出的一款高性能任意波形发生器，具有 8 GS/s 采样率和 14 bit 垂直分辨率，两个 1.5 GSa 存储通道；同时每个模块都采用高速 D/A，最大信号带宽可以达到 3.5 GHz，无杂散动态范围可以达到 80 dBc，支持远程操作。M8190A 的基本单元波形段有 2 个，当所需波形长度不大于 1.5 GSa 时，可以使用波形回放方式播放存储的波形段，如果波形长度较长，则需要通过排列和循环组成波形序列，波形序列原理图如图 3 所示。

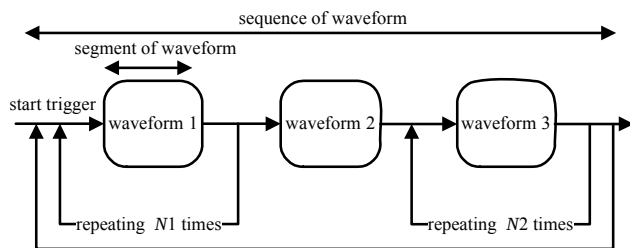


Fig.3 Schematic of waveform sequence

图 3 波形序列模式原理

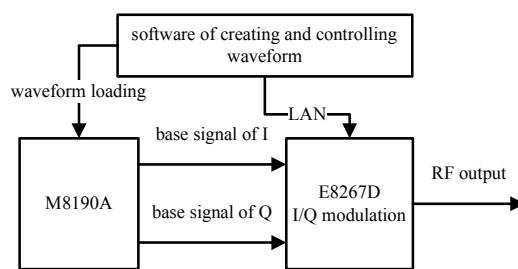


Fig.2 Schematic of multiple-signal producing

图 2 多路信号产生方案图

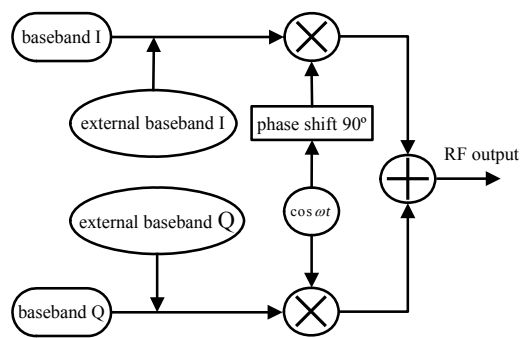


Fig.4 I/Q modulation

图 4 I/Q 调制原理

M8190A 结合宽带的 I/Q 上变频器就可以产生所需频段的信号，本方案选择 E8267D 作为后端的 I/Q 上变频器。E8267D 是工作频率能达到 44 GHz 的矢量信号发生器，最大输出功率能达到 23 dBm，具有低相位噪声等优点，具有 1 GHz 带宽的 I/Q 调制器，内嵌两通道 40 MHz 的任意波形发生器，支持外接 I/Q 信号输入作为调制信号，E8267D 的 I/Q 原理框图如图 4 所示，其所使用的射频输出表达式如式(1)。

$$y(t) = I \cos(\omega t) - Q \sin(\omega t) \quad (1)$$

多路信号波形使用 LABVIEW 软件产生，所需要产生的多路信号 S 可以用式(2)来表示：

$$S = \sin 2\pi f t \sum A_i \cos(2\pi f_i t + \theta_i) + \cos 2\pi f t \sum A_i \sin(2\pi f_i t + \theta_i) \quad (2)$$

式中： f 为多路信号的中心频率； f_i 是各路信号相对中心频率的频偏； A_i 是各路信号的功率值。在波形产生软

件中按照所要产生的信号形式修改函数 $A_i \sin(2\pi f_i t + \theta_i)$ 和 $A_i \cos(2\pi f_i t + \theta_i)$, 并将所有波形相加, 这些波形数据通过 LAN 口下载至 M8190A 中, 产生 I/Q 两路基带信号。式(2)中 A_i 是根据信号类型、信号输出功率、信号功率谱密度归一化出的功率系数, 同时计算出多路信号的总功率 P , 作为 E8267D 的功率设置参数; f 作为 E8267D 的频率设置参数。

“波形生成及控制软件”的波形数据和控制参数设计流程如图 5 所示。首先根据输入的信号类型、各信号工作频率、频率分辨率等参数, 归一化出多路信号的中心频率、功率系数、频偏、总输出功率, 并根据信号类型生成波形数据, 将波形数据下载至 M8190A, 同时设置 E8267D 的输出频率、输出功率。

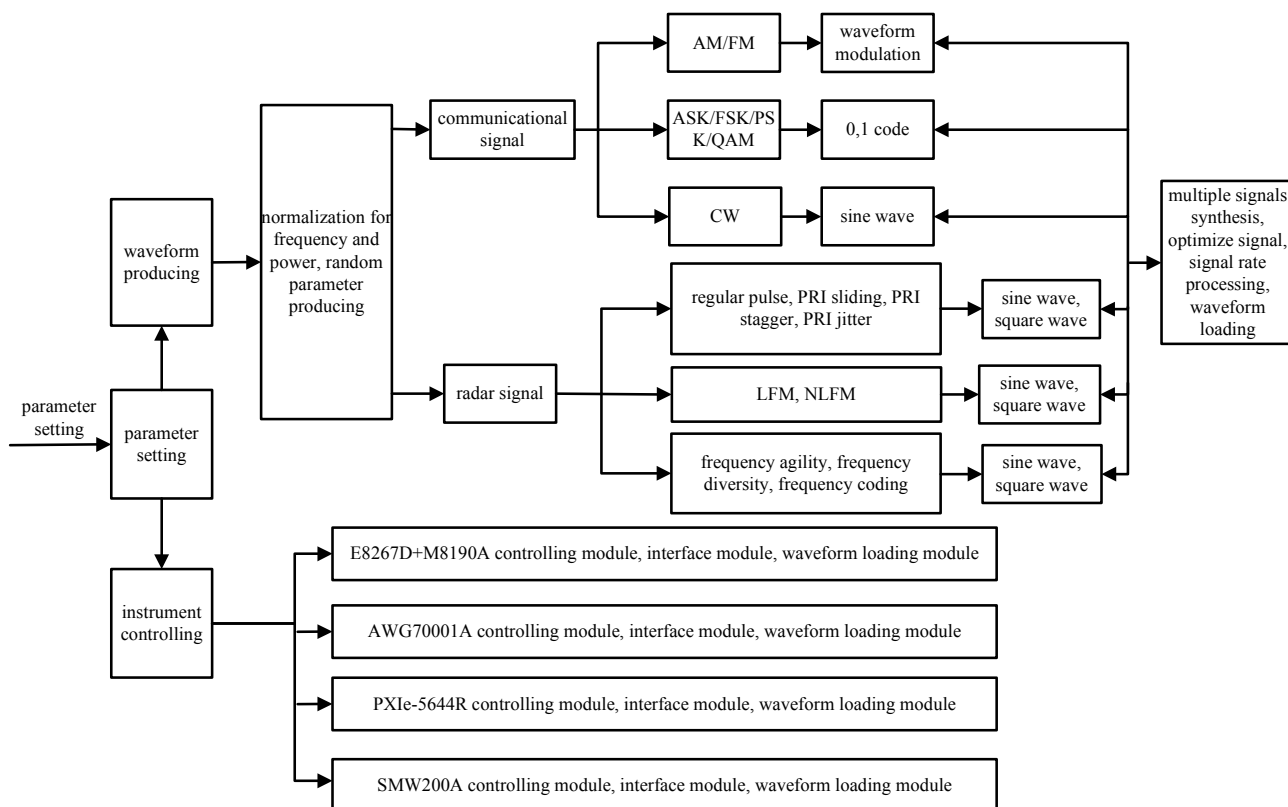


Fig.5 Procedure of waveform generator and equipment's controlling
图 5 波形生成及控制软件工作流程

2 多路信号产生实测

使用本文提出的方案, 结合某些通信卫星有效载荷测试时对信号的需求, 实测 3 种情况: 1) 同时产生 28 路连续波信号; 2) 产生 4 路不同类型的通信信号; 3) 产生雷达脉冲和数字调制信号。

1) 同时产生 28 路连续波信号

产生表 2 所要求的 28 路连续波信号, 信号的总带宽为 114 MHz, 信号动态范围为 64 dB。所产生信号的实测功率如表 2 所示, 实测频谱见图 6。从图 6 可以看出, 该方案产生的 28 路连续波信号的带内外的杂波抑制制度均可达 60 dBc, 各路信号实测功率都满足正负 2 dB 的要求, 能用于通信卫星有效载荷某阶段的测试中。

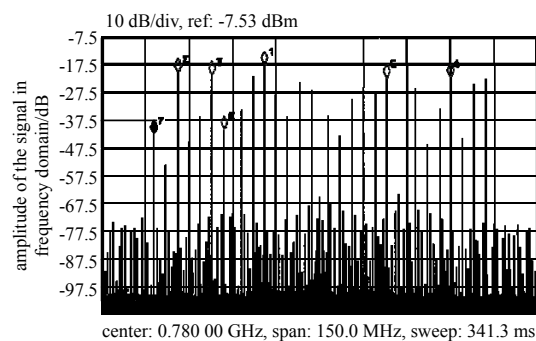


Fig.6 Testing spectrum of twenty-eight continuous wave signals
图 6 28 路连续波信号实测频谱

表 2 28 路连续波信号
Table2 Twenty-eight continuous wave signals

serial number	frequency/GHz	requested amplitude(±2)/dBm	testing amplitude/dBm	serial number	frequency/GHz	requested amplitude(±2)/dBm	testing amplitude/dBm
1	6.732	-41.00	-41.80	15	6.792	-33.00	-33.00
2	6.736	-49.00	-50.00	16	6.796	-41.00	-41.20
3	6.740	-21.00	-21.00	17	6.800	-29.00	-29.40
4	6.744	-42.50	-43.00	18	6.804	-25.00	-25.00
5	6.748	-36.00	-37.80	19	6.808	-27.00	-27.40
6	6.752	-22.00	-22.00	20	6.812	-22.50	-22.60
7	6.756	-40.00	-41.00	21	6.816	-83.00	-84.50
8	6.762	-34.00	-34.50	22	6.822	-26.00	-26.70
9	6.766	-22.00	-22.00	23	6.826	-43.00	-43.20
10	6.770	-18.00	-18.88	24	6.830	-33.00	-33.60
11	6.774	-28.00	-28.60	25	6.834	-22.00	-22.50
12	6.778	-35.00	-35.40	26	6.838	-41.00	-41.30
13	6.782	-23.00	-22.50	27	6.842	-24.00	-24.80
14	6.786	-24.00	-23.60	28	6.846	-22.00	-22.20

2) 产生 4 路不同类型的数字调制信号

通信卫星新型有效载荷测试时，某些情况需要同时加多路数字调制信号，以验证有效载荷同时处理多路通信信号的能力，产生表 3 所要求的信号。图 7 对 QPSK,BPSK,16QAM 这 3 路信号进行分析，结果显示信号质量满足要求，对这 4 路信号功率积分，测得功率值与设计值一致。验证本方案具有产生多路数字调制信号的能力。

表 3 数字调制信号要求及实测结果对比表
Table3 Testing results contrast to the requirements

frequency/GHz	signal types	amplitude/dBm		Error Vector Magnitude(EVM)(<2%)
		requested	testing	
8.350	FSK, $R_b=7.5$ kbps, $f_d=4.2$ kHz	-35.00	-34.77	—
8.355	QPSK, $R_b=1.544$ Mbps	-40.00	-39.87	1.40%
8.360	BPSK, $R_b=19.2$ kbps	-25.00	-25.20	0.80%
8.370	16QAM, $R_b=10$ Mbps	-20.00	-20.08	1.88%

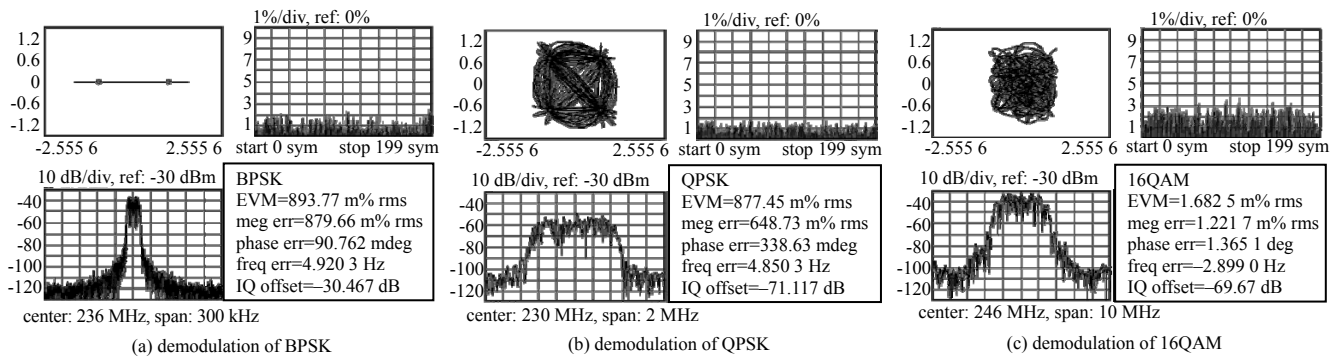


Fig.7 Analysis of modulation signals
图 7 数字调制信号分析

3) 产生雷达脉冲和数字调制信号

使用本方案产生数字调制信号和雷达脉冲信号的混合多路信号，要求设计的信号参数如表 4 所示，满足设计要求，图 8 是两脉冲信号的时域分析结果，测试结果显示脉宽、脉冲重复周期满足设计要求，图 9 是混合多路信号的频谱图，从图中可以看出，窄脉冲的功率和带宽较大，对数字信号造成了干扰，无法对数字进行解调，误差矢量幅度(Error Vector Magnitude, EVM)值已经不具备参考价值，真实模拟了实际的电磁环境。

表 4 混合多路信号设计要求及结果
Table4 Testing results of multiplex signals in contrast to the requirements

frequency/GHz	signal types	amplitude/dBm	EVM(≤2%)/pulse parameter
2.900	regular pulse, PW=2 ms, PRI=20 ms	-1	PW=2 ms, PRI=20 ms
2.930	QPSK, $R_b=1.544$ Mbps	-50	—
2.940	regular pulse, PW=0.2 μ s, PRI=5 μ s	-1	PW=0.2 μ s, PRI=5 μ s
2.945	BPSK, $R_b=19.2$ kbps	-35	—
2.950	QAM, $R_b=10$ Mbps	-30	—

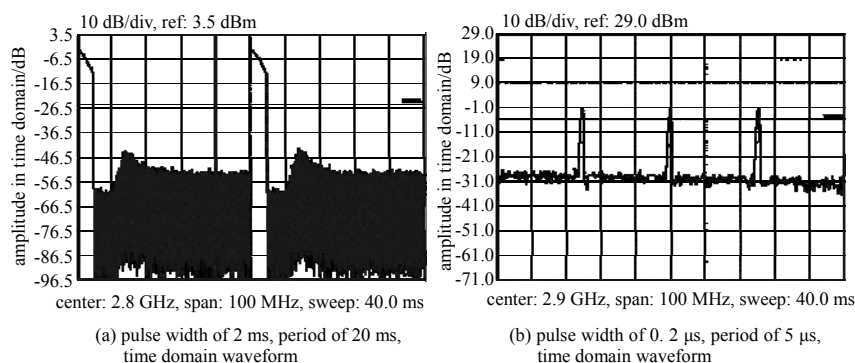


Fig.8 Analysis of pulse signals in time domain

图 8 常规脉冲时域测试结果

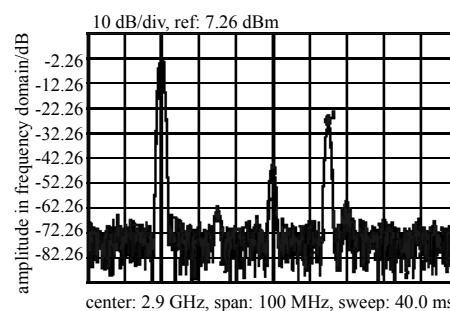


Fig.9 Spectrum of multiplex signals

图 9 混合多路信号的频谱图

3 结论

本文使用任意波形发生器 M8190A 和矢量信号发生器 E8267D, 在波形生成及控制软件的控制下, 生成能满足通信卫星有效载荷测试需求的多路信号。该方法生成信号形式灵活可调, 提高了通用测试设备的使用效率。随着有效载荷技术的发展, 被测信号的种类不局限于以往, 使用本方案, 在不增加硬件设备成本的前提下, 可以提升测试设备产生信号的能力。

参考文献:

- [1] 张英杰,王烟青,韩慧,等. 基于 AWG 的通信对抗背景信号产生方法[J]. 舰船电子工程, 2007,27(1):156-158. (ZHANG Yingjie,WANG Yanqing,HAN Hui,et al. The method of producing signals for communication countermeasure using AWG[J]. Ship Electronic Engineering, 2007,27(1):156-158.)
- [2] 梁桂海. 一种产生跳频信号的方法[J]. 国外电子测量技术, 2011,30(6):62-64,78. (LIANG Guihai. A method of generating frequency hopping signal[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2011,30(6):62-64,78.)
- [3] 王建超,伍建辉,高文冀,等. 一种宽带 LFM CW 雷达信号模拟技术研究[J]. 火控雷达技术, 2015,44(4):94-99. (WANG Jianchao,WU Jianhui,GAO Wenji,et al. Study on wideband LFM CW radar signal simulation technology[J]. Fire Control Radar Technology, 2015,44(4):94-99.)
- [4] 韦晓璐,任青莲. 基于 DDS 的多路任意波形发生器的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2015,23(4):93-94. (WEI Xiaolu, REN Qinglian. Design and implementation of multi-channel arbitrary waveform generator based on DDS[J]. Electronic Design Engineering, 2015,23(4):93-94.)
- [5] 徐梅. 基于仪表的多通道雷达信号模拟器研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012. (XU Mei. Research on multi-channel radar signal simulator by instrument[D]. Harbin,Heilongjiang,China:Harbin Institute of Technology, 2012.)
- [6] 亢程龙. 函数任意波形发生器设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2015. (KANG Chenglong. The design and implementation of function/arbitrary waveform generator[D]. Chengdu,Sichuan,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2015.)
- [7] 李衍忠,蔡英杰,向敬成. 一种宽带任意波形发生器的设计与应用[J]. 仪器仪表学报, 2000,22(5):534-536. (LI Yanzhong,CAI Yingjie,XIANG Jingcheng. Design and application of a wide-band AWG[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2000,22(5):534-536.)
- [8] AGILENT. Agilent arbitrary waveform generator M8190A's user guide[R]. Böblingen,Germany:Agilent Technologies, Inc., 2015.

作者简介:



钟良玉(1986-), 女, 四川省广元市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信卫星有效载荷测试技术、微波无源器件应用测试.email: 444959785@qq.com.

郝时光(1986-), 男, 山西省原平市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信卫星跟踪测试技术、扩频通信.

宋志操(1986-), 男, 河北省保定市人, 本科, 工程师, 主要研究方向为通信卫星自动化测试技术.