

PN9000 相位噪声测试系统扩频方法研究

叶玲玲, 孙朝斌, 沈小青, 楼 扬, 郭海生

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘要: 在航天测控领域, 相位噪声指标已成为系统性能的限制性因素, 精确测量载波的相位噪声显得尤为重要; PN9000 相位噪声测试系统可直接应用于相位噪声测试, 具备测试灵敏度高、系统稳定、测试快速等优点; 随着航天测控领域所用频率的不断提高, 针对 PN9000 相位噪声测试系统基本配置的频率范围已无法满足测试需求的问题, 为满足 PN9000 相位噪声测试系统扩频需求, 文中提出基于相位检波器法(基本型)和基于中频相位检波器法两种扩频方法, 并对两种方法进行原理分析和实验验证; 根据实验结果, 两种方法均能有效实现扩频功能, 但在系统本底相位噪声及经费使用方面各有不同特点; 文中提供的方法及实验数据, 对 PN9000 相位噪声测试系统扩频升级及配件选购等具有很好的借鉴作用。

关键词: 相位检波器; 相位噪声; 下变频

Research on Expanding Frequency Range Method of PN9000 Phase Noise Measurement System

Ye Lingling, Sun Chaobin, Shen Xiaoqing, Lou Yang, Guo Haisheng

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: The system performance is often limited by phase noise in the field of space measurement and control. Accurate measurement of carrier phase noise is particularly important. PN9000 phase noise measurement system can be directly applied to accurately measure phase noise, it has the advantages of high sensitivity, maintenance, fast test and so on. As the frequency of space measurement and control field is increased, the frequency measurement range of PN9000 basic configuration can not meet the test requirement. To meet the requirement of expanding frequency range of PN9000 phase noise measurement system, the two expanding frequency range methods were proposed that respectively based on phase detector (fundamental form) and IF phase detector, and the theoretical results with experimental data were compared. According to the experimental results, the intention of expanding frequency range can be realized by using any one of the two methods, but the different characteristics in system floor phase noise and costs are showed. The two methods and experimental data in the paper can be referred for expanding frequency range of PN9000 phase noise measurement system and choosing suitable accessories.

Keywords: phase detector; phase noise; down-conversion

0 引言

在航天测控通信、高速数据传输等系统中, 载波相位噪声对于雷达作用范围、图像信号的质量、卫星定位的精度、数据传输的误码率^[1]以及相邻信道之间信号的干扰等都有着直接影响, 精确测量载波的相位噪声就显得尤为重要。在当前多种相位噪声测试装置之中, 法国生产的 PN9000 相位噪声测试系统^[2] (以下简称 PN9000) 成为其中的佼佼者, 具有测试快速、操作简单、系统稳定等诸多优点。随着航天领域应用中主频的不断提高, PN9000 基本系统的频率测量范围已不能满足测试需求, 急需在系统基础上进行扩频。文中提出了两种扩频方法并进行了验证分析, 对于用户更好地、合理使用该系统可提供借鉴作用。

1 PN9000 基本系统简介

PN9000 相位噪声测试基本系统是法国 AEROFLEX 公司的产品, 集频域测量和时域测量于一体的系统^[3]。系统由基本配置加扩展各功能模块插件组成, 通常系统配置中含 PN9100

参考源、检相器等模块, 采用基于相位检波器法的测量原理进行相位噪声测试, 可完成频率测量范围为 2 MHz~4.5 GHz 信号源的相位噪声测试, 若需完成其他功能, 用户可根据需要自行选择, 如配置选件 PN9813 可用于测量脉冲调制连续波的相位噪声^[4], 选件 PN9841-02 可用于双端口器件附加噪声^[5-6]测量等。

由于许多高质量信号源频率已达 20 GHz 甚至更高, 而系统测量频率到 4.5 GHz 显然不能满足测试需求。如何合理选择系统扩频方法, 达到既能满足指标需求又避免造成经费浪费, 已成为测试用户所关注的问题。

2 PN9000 基本系统扩频方法

2.1 基于相位检波器法(基本型)的扩频方法

2.1.1 基于中频相位检波器法测量模型^[7-8]

图 1 中, 相位检波器(又称检相器)通常采用平衡混频器, 要求该相位检波器的频率范围可覆盖被测源频率。当被测信号与参考信号同频正交^[9], 相位起伏就可以转换为电压起伏, 在参考信号的相位起伏足够小的情况下, 可通过电压起伏计算出被测连续波的相位起伏^[8]。PN9000 基本系统配置的 PN9341-01 检相器的频率范围可达 26 GHz。在该扩频设计模型中, 被测源为微波信号源的 1 GHz 至 26 GHz 频率信号, 则

收稿日期: 2016-10-27; 修回日期: 2017-01-09。

作者简介: 叶玲玲(1977-), 女, 福建泉州人, 高级工程师, 主要从事时间频率与无线电计量方向的研究。

只要将参考源 PN9100 信号倍频至与被测信号同频, 且检相器 RF 和 LO 输入端信号都能保证检相器处于线性工作区域, 即可完成系统扩频。

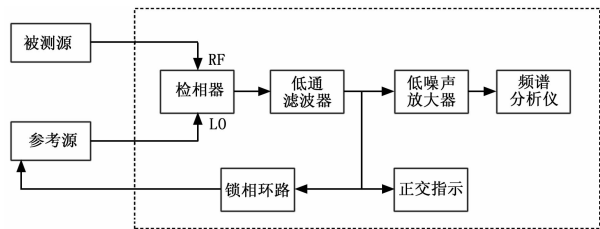


图 1 相位检波器法 (基本型) 测量模型框图

2.1.2 基于相位检波器法 (基本型) 扩频方法

考虑到引入的相位噪声本底及与 PN9000 基本系统的兼容性因素, 可选用法国 AEROFLEX 公司生产的 PN9151 和 PN9152 倍频器, 用来实现对 PN9100 参考信号的倍频。将 PN9151 与 PN9100 参考源配合使用, 可将参考信号源输出频率升至 9.0 GHz; 再采用 PN9000 的提取信号源三次谐波功能, 可将参考源频率扩展至 27 GHz, 考虑到检相器频率范围可达 26 GHz 的因素, 系统可实现对高达 26 GHz 信号测试的目的; 将 PN9152 与 PN9100A 和 PN9151 配合使用, 使参考信号源输出频率可达 18 GHz, 同样通过 PN9000 提取信号源的三次谐波, 测量频率范围最高可达 54 GHz。文中选择增加选件 PN9151 来将系统扩频至 26 GHz。基于相位检波器法 (基本型) 设计的扩频方法如图 2 所示。

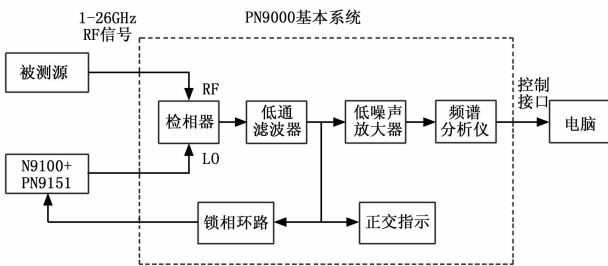


图 2 基于相位检波器法 (基本型) 的扩频方法框图

PN9000 提取信号源三次谐波功能的基本原理为: 把 PN9100 加上 PN9151 倍频器在 9 GHz 内信号的三次谐波 (27 GHz 以内) 提取出来作为参考源进行测量, 实现 9 GHz 到 26 GHz 连续波信号的测量。用该方法扩频后 PN9000 测量原理为: 对于低于 2 GHz 的信号, 直接选择射频检相器 (2 GHz 以内) 测量; 对于 2 GHz 到 4.5 GHz 的信号, 选择微波检相器 (26 GHz) 及 4.5 GHz 信号源测量; 对于 4.5 GHz 到 26 GHz 的连续波信号测量, 则提取 4.5 GHz 信号源的三次谐波功能将参考源信号扩至与被测源同频后, 再采用微波检相器 (26 GHz) 进行测量。

基于相位检波器法 (基本型) 扩频方法只需增加选件 PN9151, 这是一个简单而经济的方法。该方法优点是费用低, 属于较经济的选择, 但构建成的系统相位噪声测试技术能力需验证。

2.2 基于中频相位检波器法的扩频方法

2.2.1 基于中频相位检波器法测量模型^[7,9]

该方法主要基于中频相位检波器法的测量模型进行构建,

其模型框图如图 3 所示。

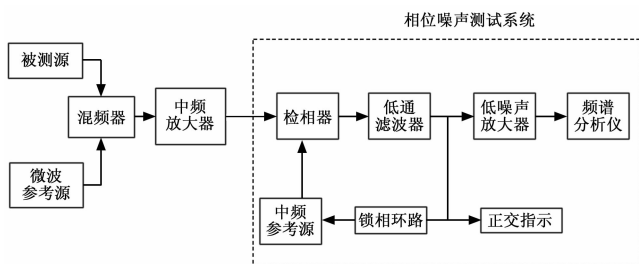


图 3 中频相位检波器法测量模型框图

图 3 中, 对于微波频段的被测源测量, 先将被测源与微波参考源混频, 得到中频信号之后用相位检波器法进行测量^[10]。中频相位检波器法需要合适的微波参考源频率范围, 以保证得到合适的中频信号, 使得其频率可落在中频参考源频率控制的范围之内; 且微波参考源的相位噪声指标需比被测源相位噪声低 10 dB 以上。文中被测源为微波信号源的 1 GHz 至 26.5 GHz 频率信号, 需要在系统中引入一个微波本振, 与被测源进行混频得到中频信号, 再与中频参考源 PN9100 进行检相, 即可完成系统扩频。

2.2.2 基于中频相位检波器法测量模型扩频方法

对于超低噪声微波信号的测量, 很难找到具有高分辨率的宽带频率合成源作为参考, 解决方法是用干净的点频源与被测件进行下混频, 文中选择 PN9276-01 下变频器来完成, 得到落在 PN9000 基本系统测试频率内的中频之后进行测量。在系统的操作软件中设置微波被测件频率值, 系统软件将自动选择与被测件最靠近的 LO 频率, 输出 RF 中频, 测试系统自动将参考源频率调整到测量到的中频值, 之后的测量则完全与基本系统测试相同。该方法需配置下变频器, 下变频器的中频输出是几百兆赫兹的较低频率, 可以使参考源工作在很低的频率^[11], 使得合成本底噪声可以不考虑参考源的影响, 可以获得较低的系统本底相位噪声^[12]。

用该方法扩频后被测件频率为 1~26.5 GHz 时, 测量原理如图 4 所示。把频率为 1~26.5 GHz 的被测件经 PN9276-01 下变频后, 频率变为 100~700 MHz 的中频输入到检相器的 RF 端, 与 PN9100 内置信号源 (工作频率与下变频器的输出频率相同) 组成射频测试系统, 之后用 PN9000 直接测量。该方法所需经费较高, 构建成的系统相位噪声测试技术能力需验证。

3 实验验证与分析

实验方法: 文中两种方法均能将频率测量范围提升至 26 GHz, 实验分别用 PN9276+PN9100、PN9100+PN9151 与 PN9000 基本系统构建的测量系统对低相噪被测件输出信号 (幅度为 +10 dBm) 进行测试, 用以验证系统本底性能。

测试曲线如图 5~6 所示。

图 5、图 6 中, 上面测试曲线均为用 PN9100+PN9151 对 PN9000 基本系统扩频后的测试曲线; 下面曲线均为用 PN9276+PN9100 对 PN9000 基本系统扩频后采用下变频法的测试曲线。图 5 载频频率均为 8 GHz, 图 6 中载频频率均为 20 GHz。图 5、图 6 显示, 基于中频相位检波器法扩频方法的系统噪声本底明显优于基于相位检波器法 (基本型) 扩频方法的噪

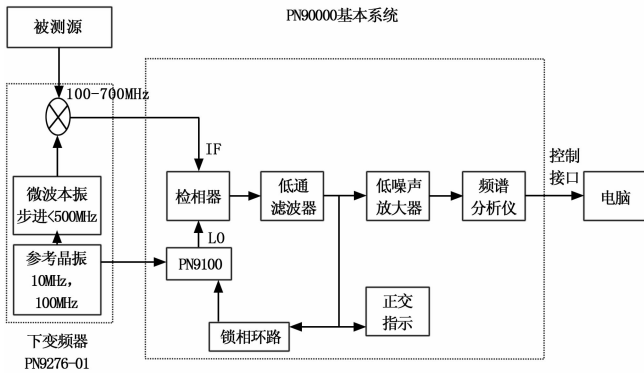


图 4 基于中频相位检波器法测量模型的扩频方法框图

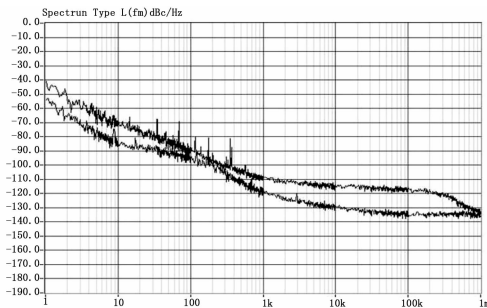


图 5 PN9276+PN9100 及 PN9100+PN9151 系统本底测试曲线 (频率 8 GHz)

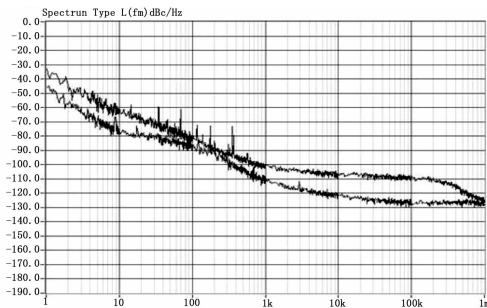


图 6 PN9276+PN9100 及 PN9100+PN9151 系统本底测试曲线 (频率 20 GHz)

声本底。

为验证 1~20 GHz 频段的系统本底性能,文中选择 1~20 GHz 相位噪声足够低的优质信号源作为被测件,分别用两种方法扩频后的系统进行测试,测试频偏为 1 Hz~10 MHz,测量结果即为系统的噪声本底。测试数据如表 1、表 2 所示。

表 1 基于相位检波法(基本型)测量模型扩频后噪声本底测试数据 (dBc/Hz)

频偏 频率	1Hz	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz	1MHz
1GHz	-53	-83	-104	-125	-133	-133	-149
2GHz	-47	-77	-98	-119	-127	-127	-145
4GHz	-41	-71	-92	-113	-121	-121	-140
8GHz	-42	-70	-89	-109	-115	-117	-133
16GHz	-26	-56	-77	-102	-108	-108	-126
20GHz	-30	-64	-62	-100	-107	-110	-125

表 2 基于中频相位检波器法测量模型扩频后噪声本底测试数据 (dBc/Hz)

频偏 频率	1Hz	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz	1MHz
1GHz	-69	-98	-114	-138	-150	-150	-152
2GHz	-63	-92	-108	-132	-144	-144	-146
4GHz	-57	-86	-102	-126	-138	-138	-140
8GHz	-52	-85	-97	-120	-130	-135	-138
16GHz	-46	-74	-90	-114	-126	-127	-128
20GHz	-45	-77	-68	-110	-121	-127	-128

4 结论

对比表 1、表 2 测试数据,可得出:基于相位检波器法(基本型)扩频方法中的整个测试系统相比基于中频相位检波器法扩频方法的系统本底相位噪声明显要差一些;基于中频相位检波器法扩频方法的整个测试系统的本底主要取决于下变频器的本底,显著优于参考源的相位噪声指标;尤其在近载频相位噪声测试中,采用下变频器可明显改善系统的本底噪声性能。

通过对 PN9000 相位噪声测试系统扩频原理^[13]进行分析,文中提出了两种基于不同测量原理的扩频方法,但两种方法在系统本底噪声指标及使用经费等方面各有优缺点,用户需综合考虑指标需求及避免经费浪费等因素合理选择扩频方法,本文可为用户具体实施扩频方案时提供有效借鉴。

参考文献:

- [1] 刘嘉兴. 相位噪声对数传误码率的影响 [J]. 电讯技术, 2007, 47 (4): 63-65.
- [2] AEROFIEX 公司. PN9000 Application Note # 2/ # 3 [Z].
- [3] AEROFIEX 公司. PN9000 Versatile Phase Noise Test Set [Z].
- [4] 陈晓龙, 王家礼, 孙 璐, 等. 脉冲调制信号相位噪声测量中的功率谱估计方法. 西安电子科技大学学报(自然科学版) [J]. 2012, 39 (4): 138-143.
- [5] W. P. 罗宾斯. 相位噪声 [M]. 秦 士, 姜遵富译. 北京: 人民邮电出版社, 1998.
- [6] 张 娜, 郭 芳, 江贤峰, 等. 时间频率信号测量中噪声表征方法的研究 [J]. 中国科学院上海天文台年刊, 2009 (30): 151.
- [7] 李宗杨, 王志田. 高连山编著. 时间频率计量 [M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [8] 李 焱. 相位噪声自动测试方法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001.
- [9] 刘红春, 刘红运. 锁相环在相位噪声测试中的工作机理和影响 [J]. 半导体技术, 2009, 34 (8): 783-786.
- [10] 国防科学技术工业委员会. GJG1707A-2005 相位噪声测量方法 [S]. 北京: 国防科工委军标发行部, 2005.
- [11] 孙素霞. 相位噪声测量方法及其研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.
- [12] 张海明. 频率源的相位噪声特性分析 [J]. 无线电通信技术, 1999, 25 (1): 25-27.
- [13] 阎栋梁. 相位噪声测量技术的发展 [J]. 宇航计测技术, 2006, 26 (5): 59-61.