

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2022.03.10

仪表着陆信号发生器校准研究

雷鸣, 葛鑫, 董娟, 李宝清

(大连长丰实业总公司, 辽宁 大连 116038)

摘要: 仪表着陆信号发生器是仪表着陆系统机载设备的专用检测设备, 目前国内还没有公开发布的关于仪表着陆信号发生器的国家或行业范围内的检定/校准技术标准。本文通过对仪表着陆系统原理进行剖析, 从仪表着陆信号发生器工作特点入手, 对航向信标、下滑信标、指点信标等信号特点进行分析, 给出了计量特性, 并基于频谱分析仪直接测量法给出了各项计量特性的校准方法, 同时对频谱分析仪引入的测量不确定度进行了分析, 用GUM法评定了扩展不确定度。结果表明, 给出的校准方法可满足仪表着陆信号发生器关键参数的校准需求, 使用频谱分析仪校准符合仪表着陆信号发生器各计量特性的量值溯源要求。

关键词: 仪表着陆; 航向信标; 下滑信标; 校准

中图分类号: TB9; V249.32+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795(2022)03-0064-08

Research on calibration of instrument landing signal generator

LEI Ming, GE Xin, DONG Juan, LI Baoqing

(Dalian Changfeng Industrial Corporation, Dalian 116038, China)

Abstract: Instrument landing signal generator is special testing equipment for the airborne equipment of instrument landing system. At present, there is no publicly published national and industrial technical standards for verification and calibration of instrument landing signal generator in China. By analyzing the principle of instrument landing system, and starting from the working characteristics of instrument landing signal generator, this paper analyzes the signal characteristics of localizer, glide path beacon and marker beacon, gives the measurement characteristics, and presents the calibration method of each measurement characteristic based on direct measurement method of spectrum analyzer. The uncertainty of measurement introduced by spectrum analyzer is analyzed, and the extended uncertainty is evaluated by GUM method. The results show that the calibration method presented in this paper can meet the calibration requirements of the key parameters of the instrument landing signal generator, and the calibration with spectrum analyzer meets the traceability requirements of the measurement characteristics of instrument landing signal generator.

Key words: instrument landing; ILS localizer; glide path beacon; calibration

0 引言

仪表着陆信号发生器可对仪表着陆机载设备的各项性能进行检测, 是飞机仪表着陆系统重要的内场检测设备^[1]。对仪表着陆信号发生器进行有效校准, 建立准确的量值溯源关系能够保障仪表着陆系统的技术性能^[2-3], 确保飞机的精密进近

和降落引导, 以保障安全着陆。国内广泛应用了仪表着陆系统, 并使用仪表着陆信号发生器对机载设备进行检测、维护。对于仪表着陆信号发生器的校准尚无公开发布的国家、行业技术标准, 日常工作中一般会参考相关装备测试标准, 如GB/T 14282.4-1993《仪表着陆系统(ILS)航向信标接收机性能要求和测试方法》和GB/T 14282.2-

收稿日期: 2022-04-17; 修回日期: 2022-05-18

基金项目: 技术基础科研项目(2020KL22005)

引用格式: 雷鸣, 葛鑫, 董娟, 等. 仪表着陆信号发生器校准研究[J]. 计测技术, 2022, 42(3): 64-71.

Citation: LEI M, GE X, DONG J, et al. Research on calibration of instrument landing signal generator [J]. Metrology and measurement technology, 2022, 42(3): 64-71.



1993《仪表着陆系统（ILS）下滑信标接收机性能要求和测试方法》中装备测试方法进行校准。总体而言，国内关于仪表着陆信号发生器的计量体系尚不完善。

本文通过分析仪表着陆系统的工作过程、运行原理，结合仪表着陆信号发生器的结构特点，从相应国家标准中引出计量特性，其中如载波频率、调制频率、调制度差（DDM）等参数是仪表着陆系统机载设备的重要指标^[4-5]。运用无线电电子学计量中信号发生器计量理论，选用测量接收机和频谱分析仪进行试验验证，用GUM法对校准结果进行不确定度评定，给出扩展不确定度评定过程及结果，最终形成一套准确、规范、可操作性强的仪表着陆信号发生器校准规范。

1 仪表着陆系统

仪表着陆系统（ILS）是应用最广泛、性能最稳定的飞机精密进近着陆引导系统，可以为飞机进近阶段提供所需的航向和下滑引导信息，飞机通过接收仪表着陆系统发射的引导信号，实现安全着陆^[6-7]。仪表着陆系统的维护分为地面设备外场测试和机载设备检测两部分，对于机载设备，需要对接收机的各项性能进行检测。仪表着陆信号发生器是仪表着陆机载设备的专用检测设备，能够模拟仪表着陆系统地面设备航向信标台、下滑信标台和指点信标台信号。

1.1 航向信标台

航向信标台是为飞机提供相对跑道中心线水平方位引导的地面无线电信标台，其天线阵列架设在跑道末端以外的一定距离处，沿跑道中心面向进近飞机发射两个水平交叉的辐射波瓣^[8]，跑道中心线右侧波瓣以90 Hz调幅信号为主，左侧以150 Hz调幅信号为主，在跑道中心线上90 Hz和150 Hz调制信号电平（幅度）相等，为飞机提供相对于跑道的航向道（水平位置）指引^[9]，航向信标台架设及波束如图1所示。

1.2 下滑信标台

下滑信标台是为飞机提供相对跑道入口下滑角引导的地面无线电信标台，下滑信标位于跑道入口一侧，平行于跑道中心线向飞机进场方向发射仰角为3°左右的两个垂直交叉的辐射波瓣，仰角外侧波瓣以90 Hz调幅信号为主，内侧以150 Hz

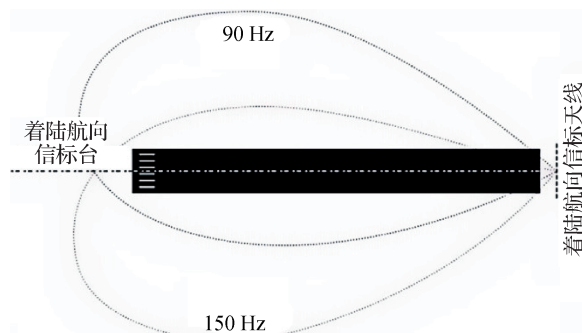


图1 航向信标台架设及波束图

Fig.1 Diagram of ILS localizer and beam

调幅信号为主，在仰角线上90 Hz和150 Hz调制信号电平（幅度）相等，为飞机提供相对于跑道平面的角度（垂直位置）指引^[10]，下滑信标台架设及波束如图2所示。

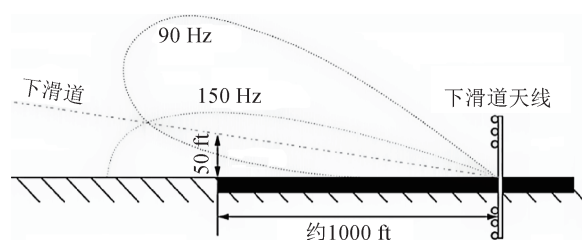


图2 下滑信标台架设及波束图

Fig.2 Diagram of glide path beacon erection and beam

1.3 指点信标台

指点信标台是指设在地面特定位置点向空中垂直发射窄扇形或倒锥形低功率波束（75 MHz调制波）的导航信标台。指点信标台架设在进近方向的跑道中心延长线上，由远及近分别为外指点信标台、中指点信标台和内指点信标台。当着陆飞机经过不同的指点信标台时，机载设备会发出对应的声音和灯光指示，作为着陆飞机的距离参考^[11]，指点信标台架设示意图如图3所示。

1.4 飞机着陆过程

着陆飞机首先由航线飞行进入到着陆机场航向引导工作区，按照着陆仪表指示修正飞机航向，使飞机进入航向面飞行。当飞机进入下滑引导工作区后，可结合气压高度表、无线电高度表对飞行高度进行修正，按照着陆仪表指示调整俯仰角进入下滑面飞行。此后不断修正飞行速度和着陆姿态，使航向、下滑仪表保持在0位指示，同时根据指点信标不断得到进场高度和距离，在飞机到达决断高度后，由飞行员操纵飞机进行目视着陆。

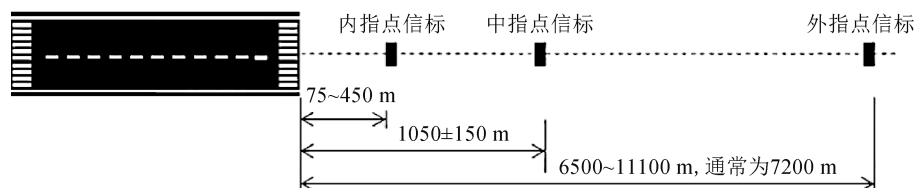


图3 指点信标台架示意图

Fig.3 Diagram of marker beacon erection

在整个过程中, 航向信标台提供水平位置指引, 下滑信标台提供垂直位置指引, 指点信标台提供距离位置指引。

2 仪表着陆信号发生器的计量特性

仪表着陆信号发生器是根据仪表着陆系统而设计, 能够针对不同信标台的测试要求模拟相应的调制信号, 并且根据系统导航要求, 对各参数进行可量化的设置。

2.1 模拟航向信标

模拟航向信标台信号为双音调幅信号, 载波频率在 108.1 ~ 111.95 MHz 范围内, 调制单音频率分别为 90 Hz 和 150 Hz, 额定调制度为 20%。当 90 Hz 调制幅度占优时, 调制度差 (DDM) 值大于 0; 当 150 Hz 调制幅度占优时, DDM 值小于 0。

根据航向信标台的导航原理, 信标发射机的载波频率、载波功率和调制信号为基本计量参数。航向信标共有 40 个信道, 应对信道内各信号载波频率, 由低至高选取典型值进行校准, 载波功率按仪表着陆信号发生器设计特点, 一般应在 -120 ~ 0 dBm 连续可调, 校准时按实际输出范围校准, 调制单音频率 90, 150 Hz 和识别信号 1020 Hz 应分别校准。

还需引入间接参数调制度差 (DDM), DDM 值能够体现两个调制信号幅度的差异程度, 即反映了飞机和跑道中心线的偏离程度^[12]。DDM 计算公式为

$$\text{DDM} = \frac{M_{90} - M_{150}}{100\%} \quad (1)$$

式中: M_{90} , M_{150} 分别为 90 Hz 和 150 Hz 频率调幅深度, %。

当 DDM 值等于 0 时, 飞机航向与跑道中心线夹角为 0°; 当 DDM 值大于 0 时, 即 90 Hz 调制信号占优, 飞机航向相对跑道中心线偏左; 当 DDM 值小于 0 时, 飞机航向相对跑道中心线偏右。在对机

载仪表着陆系统进行测试时, DDM 值的输出范围一般在 -0.4 ~ 0.4 之内。

针对上文提及的各参数, 对照 GB/T 14282.4-1993 引入相应技术要求: 频率稳定度为 $\pm 50 \times 10^{-6}$; 输出功率范围为 -120 ~ -6 dBmW; 输出误差为 ± 2.5 dB; 航向调制: 调制度差精度为 0.002 (0.1 dB); 音频输出频率为 90 Hz $\pm 0.3\%$, 150 Hz $\pm 0.3\%$, 1020 Hz $\pm 1\%$; 上述三种信号失真度均小于 1%, 且可以单独或同时对射频信号发生器调幅, 调幅度各为 20% $\pm 1\%$ (90 Hz 和 150 Hz) 和 30% $\pm 3\%$ (1020 Hz)^[9]。根据以上技术要求, 结合仪表着陆信号发生器工作原理, 得到模拟航向信标台计量特性, 见表 1。

表1 模拟航向信标台计量特性

Tab.1 Measurement characteristics of simulated ILS localizer

校准项目	测量范围	技术要求
载波频率	108.1 ~ 111.95 MHz	$\pm 5 \times 10^{-5}$
载波功率	-120 ~ 0 dBm (或按设备技术要求)	± 2.5 dB
单音额定调幅度	20% (90, 150 Hz)	$\pm 1\%$
	30% (1020 Hz)	$\pm 3\%$
单音调制频率	90, 150 Hz	$\pm 0.3\%$
	1020 Hz	$\pm 1\%$
音频失真度	-	$< 1\%$
DDM	-0.4 ~ 0.4	± 0.002

2.2 模拟下滑信标

模拟下滑信标台信号为双音调幅信号, 载波频率在 329.15 ~ 335 MHz 范围内, 调制单音频率分别为 90 Hz 和 150 Hz, 额定调制度为 40%, 当 90 Hz 调制幅度占优时, DDM 值大于 0, 当 150 Hz 调制幅度占优时, DDM 值小于 0。

根据下滑信标台的导航原理, 信标发射机的

载波频率、载波功率和调制信号为基本计量参数。下滑信标一共有 40 个信道，应对信道内各信号载波频率，由低至高选取典型值进行校准，载波功率一般应在-120 ~ 0 dBm 连续可调，调制单音频率 90 Hz 和 150 Hz 应分别校准。

下滑信标台各项参数除载波频率和额定调幅深度与航向信标不同外，没有 1020 Hz 调制识别信号，其他各项指标与航向信标台一致，对照 GB/T 14282. 2-1993 引入相应技术要求：频率稳定性为 $\pm 50 \times 10^{-6}$ ；输出功率范围为-120 ~ -6 dBmW；输出误差为 ± 2.5 dB；下滑调制：调制度差精度为 0. 002 (0. 1 dB)；音频输出频率为 90 Hz $\pm 0. 3\%$ 和 150 Hz $\pm 0. 3\%$ ；两种信号失真度均小于 1%，可单独或同时对射频信号发生器调幅，调幅度各为 40% $\pm 1\%$ [10]。根据以上技术要求，结合仪表着陆信号发生器工作原理，梳理模拟下滑信标台计量特性，见表 2。

表 2 下滑信标台计量特性
Tab.2 Measurement characteristics of simulated glide path beacon

校准项目	测量范围	技术要求
载波频率	329.15 ~ 335 MHz	$\pm 5 \times 10^{-5}$
载波功率	-120 ~ 0 dBm(或按设备技术要求)	± 2.5 dB
单音额定调幅度	40%	$\pm 1\%$
单音调制频率	90, 150 Hz	$\pm 0.3\%$
音频失真度	—	<1%
DDM	-0.4 ~ 0.4	± 0.002

2.3 模拟指点信标

模拟指点信标台信号为单音调幅信号，载波频率固定为 75 MHz，调制单音频率分别为外指点信标为 400 Hz；中指点信标为 1300 Hz；内指点信标为 3000 Hz，额定调制度为 95%。指点信标台的调制信号是通过键控的形式发射出去，称为识别信号或键控信号，频率为 6 Hz 或 2 Hz。

根据指点信标台的导航原理，信标发射机的载波频率、载波功率、调制信号、键控频率为基本计量参数。对照 GB/T 9026-2000《指点信标性能要求和测试方法》引入相应技术要求：射频频率准确度不应劣于 $\pm 5 \times 10^{-5}$ ；调制频率准确度不应

劣于 $\pm 2.5\%$ ；每个调制信号频率的总谐波成分不应超过 $\pm 15\%$ ；调制度应为 95%，误差不应超过 $\pm 4\%$ ；音频调制的键控速度变化率应小于 $\pm 15\%$ [11]。根据以上技术要求，结合仪表着陆信号发生器工作原理，梳理模拟指点信标台计量特性见表 3。

表 3 指点信标台计量特性
Tab.3 Measurement characteristics of simulated marker beacon

校准项目	测量范围	技术要求
载波频率	75 MHz	$\pm 5 \times 10^{-5}$
载波功率	按设备技术要求	按设备技术要求
调制频率	400, 1300, 3000 Hz	$\pm 2.5\%$
失真度	—	<15 %
调制深度	95 %	$\pm 4\%$
键控频率	6, 2 Hz	< ± 15 %

3 校准方法及不确定分析

仪表着陆信号发生器是内场修理用设备，为方便维护人员对机载仪表着陆系统进行调试、调修，针对每项参数均可单独控制、单独测试，因此，可选用测量接收机或频谱分析仪对各参数分别进行校准。仪表着陆载波信号在甚高频频段，仪表着陆信号发生器信号输入端子一般设计为 N 型接头。频谱分析仪则根据带宽不同分为 N 型接头、3. 5 mm 接头、2. 92 mm 接头或 2. 4 mm 接头等形式。因此在校准时一般选用与频谱分析仪端子形式相同的同轴电缆，在与仪表着陆信号发生器连接端匹配转接头进行连接。

测量接收机为射频信号经典分析仪，具有极高的电平测量精度，同时还能完成频率测量、解调分析。可直接用测量接收机对仪表着陆信号发生器载波频率、载波功率、调制频率及调制深度进行校准，DDM 值根据调制深度校准结果进行计算。受限于测量接收机工作原理，对混合调制信号的调制参数难以准确测量，需设置仪表着陆信号发生器先后输出各调制频率信号，进行逐一校准，且无法测量键控信号，另需借助示波器来完成校准。

频谱分析仪为射频测试领域最常用的仪器，具有测试手段灵活、效率高的优点。使用频谱分

析仪可对被测信号在频域内进行快速分析、测量,完成信号频率、功率等指标的分析、校准^[13]。在选装模拟解调分析软件后还可对调制信号进行频域和时域分析^[14]。其中的音频频谱功能通过对基带信号进行快速傅立叶变换(FFT),可直观地反映基带信号在频域中的行为,能够同时观测通道

带宽内全部频谱,并对每个频谱信号的调制参数进行实时测量,实现对混调信号多个调制波的同时测量,极大地提高了测量速度及信号观测的可靠性。利用频谱分析仪对仪表着陆信号发生器各参数的校准流程如图4所示。

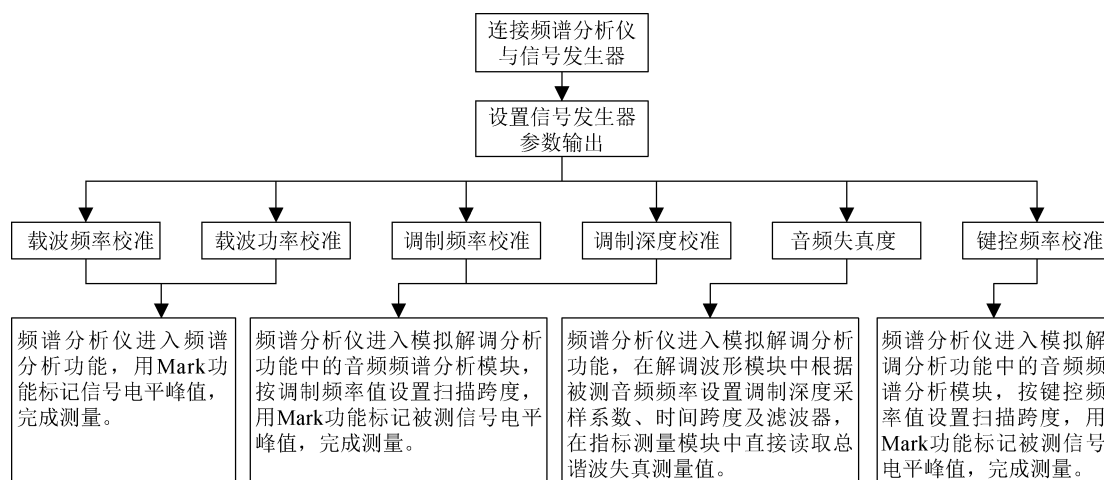


图4 校准流程图

Fig.4 Calibration flow chart

测量标准的不确定度直接影响仪表着陆信号发生器校准结果的不确定度,以是德科技N9020B频谱分析仪为例^[15],简述各项参数校准方法,并对校准结果中测量标准引入的不确定度进行简要分析。

3.1 载波频率

设定仪表着陆信号发生器输出信号后可直接用频谱分析仪进行测量,按校准频点设置中心频率值,根据被测信号的稳定程度可适当设定频谱分析仪的频率宽度(Span)、视频带宽(Video bandwidth, VBW)和分辨力带宽(Resolution bandwidth, RBW),用Mark功能标记信号电平峰值,读取频率测量值如图5所示。

载波频率的测量不确定度主要来源于频谱分析仪的时基年老化率和频率测量固有误差,N9020B在加装PFR选件后的年老化率为 $\pm 1 \times 10^{-7}$,频率测量固有误差为0.1 Hz,标准装置重复性忽略不计,以航向信号1波道108.1 MHz信号为例计算标准装置引入不确定度。

老化率引入不确定度按均匀分布计算

$$u_{1\text{rel}} = 1 \times 10^{-7} \div \sqrt{3} = 5.77 \times 10^{-8}$$

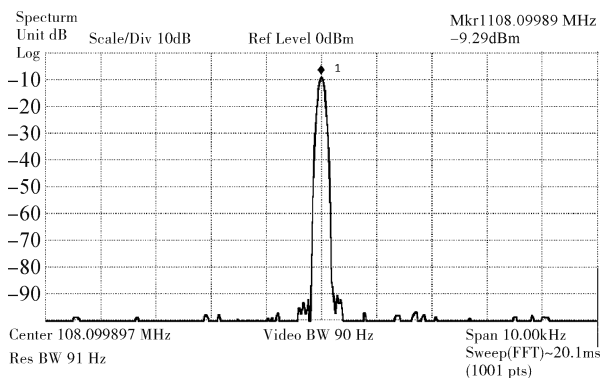


图5 载波频率测量结果

Fig.5 Carrier frequency measurement results

固有误差引入不确定度按均匀分布计算

$$u_{2\text{rel}} = 0.1 \text{ Hz} \div 108100000 \text{ Hz} \div \sqrt{3} = 5.3 \times 10^{-10}$$

合成标准不确定度为

$$u_{\text{crel}} = 5.8 \times 10^{-8}$$

k 取2,扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = 1.2 \times 10^{-7} (k=2)$$

标准装置引入不确定度优于被测指标两个数量级,完全满足量传要求。

3.2 载波功率

对于未加调制的载波信号,频谱分析仪在设

置中心频率、Span, VBw 和 RBw 后, 用 Mark 功能标记信号峰值, 可直接读取载波功率值。对于加载了调制的载波信号, 着重关注信号的峰值功率, 可用信号保持 (Mark Hold) 功能, 当频谱分析仪捕获足够的采样信息后, 在屏幕显示出峰值频谱, 再用 Mark 功能标记信号峰值, 读取载波峰值功率。或者使用频谱分析仪通道功率测量功能, 设置适当的通道带宽, 如 1 MHz, 可直接读取通道功率测量值。此外, 用于载波功率测量的同轴电缆应取得各频点的插损校准数据, 并对频谱分析仪的功率测量结果进行修正。

载波功率的测量不确定度主要来源于频谱分析仪的电平测量基本误差、频率响应误差以及电缆插损校准值引入不确定度, 对于测量标准的不确定度分析, 暂不考虑失配误差。N9020B 频谱分析仪手册中直接给出了在 20 Hz ~ 3.6 GHz 频率范围内的典型测量误差为 ± 0.23 dB (此项指标包括了基本误差和频率响应), 插损校准值测量不确定度为 0.02 dB, 标准装置重复性忽略不计, 可计算扩展不确定度。

功率电平测量误差引入不确定度按均匀分布计算

$$u_1 = 0.23 \text{ dB} \div \sqrt{3} = 0.13 \text{ dB}$$

电缆插损校准值引入不确定度按均匀分布计算

$$u_2 = 0.02 \text{ dB} \div 2 = 0.1 \text{ dB}$$

合成标准不确定度为

$$u_c = 0.13 \text{ dB}$$

k 取 2, 则扩展不确定度为

$$U = 0.3 \text{ dB} \quad (k = 2)$$

标准装置引入不确定度按 1:3 量传要求, 可量传输出功率最大允许误差 ± 0.9 dB, 满足对仪表着陆信号发生器载波功率校准的量传要求。

3.3 调制频率

测量调制信号时, 需进入频谱分析仪的模拟解调分析功能。在此功能中, 调用音频频谱分析模块, 设置中心频率、中心电平及扫频宽度, 音频扫描跨度需高于被测信号调制频率。若校准航向信号调制频率为 90 Hz 和 150 Hz 双频, 则音频扫描跨度可设置为 85 ~ 155 Hz, 用 Mark 功能标记需读取频谱信号电平峰值, 即可读出相应调制频率测量值, 如图 6 所示。对于识别信号 1020 Hz 测量

方法类似。

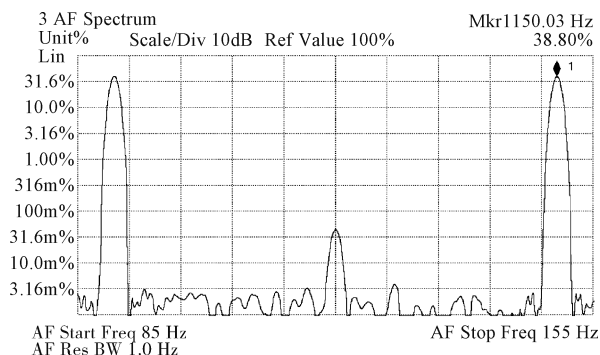


图 6 调制频率测量结果

Fig.6 Modulation frequency measurement results

调制频率的测量不确定度主要来源于频谱分析仪模拟解调测量中调制深度影响量和调制频率影响量。调制深度影响量计算式为

$$f_m = \pm \frac{0.00025 \% \times f_{AM}}{\frac{m}{100\%}} \quad (2)$$

式中: f_m 为调制频率测量调制深度影响量, Hz; f_{AM} 为调制频率, Hz; m 为调制深度, %。

调制频率影响量计算公式为

$$f_{\Delta} = \pm (f_{AM} \times Q) \quad (3)$$

式中: f_{Δ} 为调制频率测量调制频率影响量, Hz, Q 为时基老化率。

以 90 Hz 调制频率, 40% 调制深度为例计算标准装置引入不确定度。

调制深度影响量引入不确定度按均匀分布计算

$$u_1 = \frac{2.5 \times 10^{-6} \times 90 \text{ Hz}}{\frac{40\%}{100\%}} = 3.3 \times 10^{-4} \text{ Hz}$$

调制频率影响量引入不确定度按均匀分布计算

$$u_2 = 90 \text{ Hz} \times 1 \times 10^{-7} \div \sqrt{3} = 5.2 \times 10^{-6} \text{ Hz}$$

合成标准不确定度为

$$u_c = 3.3 \times 10^{-4} \text{ Hz}$$

k 取 2, 扩展不确定度为

$$U = 6.6 \times 10^{-4} \text{ Hz}$$

计算相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = \frac{0.00066 \text{ Hz}}{90 \text{ Hz}} = 7 \times 10^{-6} \quad (k = 2)$$

标准装置引入不确定度优于被测指标 3 个数量级, 完全满足量传要求。

3.4 音频失真度

频谱分析仪进入模拟解调分析功能,在解调波形模块中根据被测音频频率值设置调制深度采样系数和时间跨度,使信号触发适当,并显示稳定的波形。若信号发生器输出信号为多音频调制,则还需开启滤波器,过滤掉其他有效信号。当被测音频信号在解调波形面板中稳定显示后,在指标测量模块中可直接读取总谐波失真测量值。

音频失真度测量不确定度主要来源于频谱分析仪模拟解调失真度测量的调幅深度影响量和固有误差。调制深度影响量计算公式为

$$K_m = \pm \frac{0.015\%}{\frac{m}{100\%}} \quad (4)$$

式中: K_m 为音频失真度调制深度影响量, %; m 为调制深度, %。

以 90 Hz 调制频率, 40% 调制深度为例计算标准装置引入不确定度。

调制深度影响量引入不确定度按均匀分布计算

$$u_1 = \frac{0.015\%}{\frac{40\%}{100\%}} \div \sqrt{3} = 0.022\%$$

固有误差引入不确定度按均匀分布计算

$$u_2 = 0.05\% \div \sqrt{3} = 0.029\%$$

合成标准不确定度为

$$u_c = 0.036\%$$

k 取 2, 则扩展不确定度为

$$U = 0.07\% \quad (k = 2)$$

音频失真度指标为信号发生器音频信号的质量保证参数,而非量传指标,因此没有量值传递关系。频谱分析仪音频失真度测量的扩展不确定度完全可以满足仪表着陆信号发生器信号失真度的测量要求。

3.5 调制深度

调制深度的测量方法与调制频率测量方法一致,在按调制频率测量方法观测到稳定波形后,用 Mark 功能标记信号电平峰值,即可读出相应调制频率下调制深度测量值,如图 6 所示。

调制深度的测量不确定度主要来源于频谱分析仪模拟解调测量中调制深度测量误差和调制深度测量固有误差。调制深度测量误差为 $\pm 0.1\%$,固有误差为 $\pm 0.07\%$ 。以 40% 调制深度为例计算标准

装置引入不确定度。

测量误差引入不确定度按均匀分布计算

$$u_1 = 0.001 \times 40\% \div \sqrt{3} = 0.023\%$$

固有误差引入不确定度按均匀分布计算

$$u_2 = 0.07\% \div \sqrt{3} = 0.040\%$$

合成标准不确定度为

$$u_c = 0.047\%$$

k 取 2, 则扩展不确定度为

$$U = 0.09\% \quad (k = 2)$$

标准装置引入不确定度满足 1 : 3 量传要求。

根据调制深度测量不确定度计算 DDM 不确定度,用方和根法对两次调幅深度测量不确定度进行合成,得出 DDM 值扩展不确定度为 0.0007,可满足与仪表着陆信号发生器 1:3 的量传比。

3.6 键控频率

键控频率信号是在调制信号的基础上加入了固定的开关频率,在时域上体现为周期性的包络信号,在频域上以谐波分量的形式体现,测量方法类似于调制频率测量。如测量 6 Hz 键控频率,则需在音频频谱分析模块中设置音频扫描跨度从 0 ~ 6 Hz,之后用 Mark 功能标记需读取频谱信号的峰值,即可读出键控频率测量值。

键控频率测量标准引入的测量不确定度与调制频率测量不确定度相一致,完全满足量传要求。

4 结论

通过介绍仪表着陆信号发生器的计量特性,结合工作经验对测量标准的选用进行了分析,给出了使用频谱分析仪对仪表着陆信号发生器的校准方法,同时对测量标准的测量不确定度进行了分析和计算。通过试验、分析可知,基于快速傅立叶变换的现代频谱分析仪在仪表着陆信号发生器校准中具有较大的优势:极高的测量效率和较高的测量精度,一台仪器就能完成全部参数的校准,且各项参数的标准不确定度可满足被测设备的量传要求。尤其是模拟解调音频频谱分析功能,可同时测量多音频调制参量,直接对原始采集信号进行分析,不需进行滤波抑制,测量结果更为准确、客观。

参考文献

- [1] 吴德伟. 无线电导航系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.

- WU D W. Radio navigation system [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015. (in Chinese)
- [2] 罗允曼. 仪表着陆系统外场测试方法讨论[J]. 民航管理, 2018(1):59-61.
- LUO Y M. Discussions on instrument landing equipment field test methods[J]. Civil aviation management, 2018 (1): 59-61. (in Chinese)
- [3] 梁志国, 尹肖, 孙浩琳, 等. 民用飞机测试体系的讨论[J]. 计测技术, 2018, 38(4): 1-5.
- LIANG Z G, YIN X, SUN H L, et al. The discussion on the systems of civil airplane test[J]. Metrology and measurement technology, 2018, 38(4): 1-5. (in Chinese)
- [4] 王胜超, 樊哲, 欧佳. 军用航空型号产品专用测试设备全过程计量保证研究[J]. 计测技术, 2019, 39(6): 67-70. (in Chinese)
- WANG S C, FAN Z, OU J. Research on the whole process measurement guarantee of special test equipment for aviation model products[J]. Metrology and measurement technology, 2019, 39(6): 67-70. (in Chinese)
- [5] 牛强军, 侯朋帅. 仪表着陆系统机载设备检测系统研制[J]. 电子设计工程, 2017, 25(22): 89-92.
- NIU Q J, HOU P S. Development of instrument landing system airborne equipment detecting system [J]. Electronic design engineering, 2017, 25(22): 89-92. (in Chinese)
- [6] 张鹏, 何光亮, 樊智勇. 仪表着陆系统航向信标信号源的研究与设计[J]. 航空电子技术, 2017, 48(3): 14-19.
- ZHANG P, HE G L, FAN Z Y. Research and design of signal source for ILS's course beacon[J]. Avionics technology, 2017, 48(3):14-19. (in Chinese)
- [7] 姜楠. 仪表着陆系统(ILS)航向信号外场测试方法的改进[J]. 河南科技, 2019, 682(12): 8-10.
- JIANG N. Improvement of field test method for instrument landing system (ILS) heading signal[J]. Henan science and technology, 2019, 682(12): 8-10. (in Chinese)
- [8] 陈康. 仪表着陆系统航向信标的分析与研究[J]. 信息通信, 2011, 116: 9-11.
- CHEN K. Research and analysis on the ground course beacon subsystem of ILS[J]. Information & communications, 2011, 116: 9-11. (in Chinese)
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. 仪表着陆系统(ILS)航向信标接收机性能要求和测试方法: GB/T 14282.4-1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Performance requirements and test methods for ILS localizer receiver: GB/T 14282.4-1993 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1993. (in Chinese)
- [10] 国家质量监督检验检疫总局. 仪表着陆系统(ILS)下滑信标接收机性能要求和测试方法: GB/T 14282.2-1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Performance requirements and test methods for ILS glide slope receiver: GB/T 14282.2-1993[S]. Beijing: Standards Press of China, 1993. (in Chinese)
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. 指点信标性能要求和测试方法: GB/T 9026-2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Performance requirements and test methods for marker beacon: GB/T 9026-2000[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000. (in Chinese)
- [12] 武云云, 朱爱雅, 米正衡. 仪表着陆系统航向信标调制度差的仿真分析[J]. 现代导航, 2013(6): 420-424.
- WU Y Y, ZHU A Y, MI Z H. Simulation and analysis on difference in depth of modulation of course beacon in ILS [J]. Modern navigation, 2013 (6): 420-424. (in Chinese)
- [13] 孙英侠, 李亚利, 宁宇鹏. 频谱分析仪与原理及频谱分析仪使用技巧[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(7): 76-80.
- SUN Y X, LI Y N, NING Y P. Spectrum analysis theory and spectrum analyzer using techniques [J]. Foreign electronic measurement technology, 2014, 33(7): 76-80. (in Chinese)
- [14] Keysight Technologies. Analog demodulation x-series measurement app, multi-touch UI[Z]. 2020.
- [15] Keysight Technologies. Mxax-series signal analyzer multi-touch N9020B[Z]. 2019.

(本文编辑:朱俊真)



第一作者:雷鸣(1981—),男,高级工程师,主要研究方向为无线电计量及航空装备专用检测设备校准。