

公开

电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	微波脉冲检波器校准规范		
制定或修订	☒ 制定 ☐ 修订	被修订计量技术规范号	
计量技术规范性质	☐ 检定规程 ☒ 校准规范	计量技术规范类别	☐ 重点 ☒ 基础
主要起草单位	中国工程物理研究院计量测试中心		
联系人	郭晓东	联系电话	08162494417
任务年限	1 年	申请经费	1 万
参加单位	无		
目的、意义和必要性	1.目前，微波脉冲检波器在微波类测量设备的研制、大型高功率微波试验等领域应用广泛，通过将微波连续波信号或微波脉冲调制信号转换为直流信号或脉冲信号，可以对微波信号的幅度、脉冲波形等参数进行测量，因此对微波脉冲检波器的校准具有重要意义。通过编制微波脉冲检波器校准规范，可以解决当前行业内没有针对微波脉冲检波器类设备的校准规范问题，保证微波脉冲检波器的量值准确可靠。 2.微波检波器主要有平方率检波器、线性检波器以及对数检波器，其主要厂家和型号如下表。其中平方率检波器的输出电压与输入功率成线性关系，线性检波器的输		

	出电压与输入电压成线性关系，而对数检波器的输出电压与输入功率的分贝值成线性关系。			
	厂家	型号	检波类型	特性
	Keysight	8474B	平方率检波	$V_{out} \propto P_{in(W)}$
	华湘	SHX-803-2.92 J/SMAK-40	线性检波	$V_{out} \propto V_{in(V)}$
	宇熙电子	YDC5001-Q3	对数检波	$V_{out} \propto P_{in(dB)}$
3.微波脉冲检波器校准规范针对上述三种不同类型的检波器，对微波连续波信号以及微波脉冲调制信号检波特点编制了共 6 项计量特性，可以完全覆盖微波脉冲检波器的技术指标，编制此校准规范可以规范微波脉冲检波器类设备的技术指标，推进此类设备的整体研制水平和实用性提升，具有良好的推广应用前景。				
4.通过调研，国内无微波脉冲检波器相关技术规范，仅有 JJF(军工)76-2022 《微波二端口器件校准规范》以及 GJB2650-1996 《微波元器件性能测试方法》中对检波器的连续波检波特性进行了规定，没有对微波脉冲检波器类设备的规定。				

产业链应用	1.重点产业链方向：仪器仪表、移动通信 2.对本行业重点产业链的支撑作用： 微波脉冲检波器主要功能是对微波连续波信号的功率参数进行测量以及对脉冲调制信号的包络波形进行解调，其在移动通信、仪器仪表、工业与能源领域、科学研究应用等均有较为广泛的应用。 在移动通信产业链中，其主要应用于 5G/6G 基站监测，可实时监测脉冲毫米波信号质量；以及应用于相控阵雷达校准，在 T/R 组件中实现脉冲功率动态监测。 在仪器仪表产业链中，其主要应用于频谱分析仪、网络分析仪、峰值功率计、测量接收机等超宽动态范围检测；以及应用与电磁兼容测试，用于捕捉瞬态微波脉冲测试。 在工业与能源领域，微波脉冲检波器主要应用于粒子加速器监控，监测速调管输出功率稳定性；以及应用于工业微波加热设备能量监测。 在科学研究应用中，其主要应用于聚变等离子体诊断，可用微波脉冲检波器对 EAST 托卡马克装置中测量电子回旋辐射功率；也可应用于射电天文探测中接收宇宙微波背景辐射；以及可以应用于高功率微波中远场空间功率密度以及辐射场总功率的测试。 本项目聚焦微波脉冲检波器在各领域中的应用，通
-------	--

	过编写微波脉冲检波器校准规范，可以推动微波通用测量仪器仪表、通讯设备等的研发升级，也可保障高功率微波类设备的辐射功率等关键参数的准确测量，为其提供测试技术保障。																		
范围和主要 计量特性	1.本规范适用于频率为10 MHz~40 GHz、输入功率为-50 dBm~20 dBm 的微波脉冲检波器的校准。 2. 基 于 典 型 微 波 脉 冲 检 波 器 8474B 、SHX-803-2.92J/SMAK-40、YDC5001-Q3，提出本规范的计量特性如下表：																		
	<table><tr><td>序号</td><td>计量特性名称</td><td>测量范围</td></tr><tr><td>1</td><td>输入端口驻波比</td><td>1.0~4.0</td></tr><tr><td>2</td><td>连续波检波灵敏度</td><td>平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW 线性检波器： 0.01mV/mV~10mV/mV 对数检波器： 1mV/dB~100 mV/dB</td></tr><tr><td>3</td><td>检波频率响应</td><td>(-3~+3)dB</td></tr><tr><td>4</td><td>连续波检波平坦度</td><td>≤3dB</td></tr><tr><td>5</td><td>脉冲检波灵敏度</td><td>平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW</td></tr></table>	序号	计量特性名称	测量范围	1	输入端口驻波比	1.0~4.0	2	连续波检波灵敏度	平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW 线性检波器： 0.01mV/mV~10mV/mV 对数检波器： 1mV/dB~100 mV/dB	3	检波频率响应	(-3~+3)dB	4	连续波检波平坦度	≤3dB	5	脉冲检波灵敏度	平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW
	序号	计量特性名称	测量范围																
	1	输入端口驻波比	1.0~4.0																
	2	连续波检波灵敏度	平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW 线性检波器： 0.01mV/mV~10mV/mV 对数检波器： 1mV/dB~100 mV/dB																
	3	检波频率响应	(-3~+3)dB																
	4	连续波检波平坦度	≤3dB																
	5	脉冲检波灵敏度	平方率检波器： 0.1 mV/μW~100 mV/μW																

		线性检波器： 0.01mV/mV~10mV/mV 对数检波器： 1mV/dB~100 mV/dB
6	上升时间	≤20ns
3.主要测量标准的技术指标如下表：		
序号	计量特性名称	技术指标
1	信号发生器	频率范围:10MHz~40GHz, 功率范围:-50dBm~20dBm, 日老化率:±5×10 ⁻⁸ , 具有脉冲调制功能
2	峰值功率计	频率范围:10MHz~40GHz, 连续波功率范围:-30dBm~20dBm, 脉冲峰值功率范围:-5dBm~20dBm, 功率最大允许误差:±3%
3	网络分析仪	频率范围:10MHz~40GHz, 反射系数模值最大允许误差:±0.024
4	功分器	频率范围:10MHz~40GHz, 幅度一致性:不大于0.25dB
5	定向耦合器	频率范围:10MHz~40GHz, 方向性: 不小于 14dB(10MHz~20GHz), 不小于 10dB(20GHz~40GHz), 耦合度:不大于 20dB

	6	纳伏表	直流电压最大允许误差:±0.1%
	7	数字示波器	带宽:不小于 500MHz, 幅度最大允许误差:±2%
	8	功率放大器	频率范围: 10MHz~40GHz, 增益: ≥30dB
4. 主要计量项目的技术原理: a.输入端口驻波比 输入端口驻波比主要通过矢量网络分析仪进行计量,按图 1 将检波器微波输入端连接在网络分析仪被校端口,利用网络分析仪对输入端口驻波比进行直接测量。 网络分析仪 输入端口 被校检波器 图1 检波器输入端口驻波比校准框图 b.连续波检波灵敏度 1)平方率检波器: 平方率检波器连续波检波灵敏度项目按图 2 所示的校准框图进行校准。通过信号发生器输出一连续波信号,利用功分器或耦合器将信号分为两路,功分器一路/耦合器耦合端接功率计(若信号功率较小,功率计无法测出时,需在其前端加一功率放大器),功分器另一路/耦合器直通端接被校检波器输入端。利用功率计监视输入至被校检波器的连续波功率值,利用纳伏表对被校检波器的输出电压进行测量。利用输出电压 V_{out} (单位为 mV)			

与输入至检波器的功率值 P_{in} （单位为 μW ）进行比较 V_{out}/P_{in} ，完成检波器连续波检波灵敏度的校准。

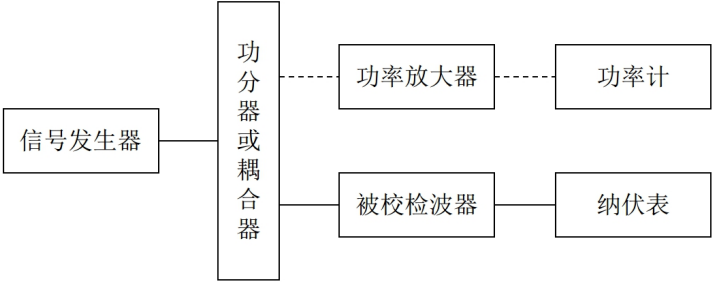


图 2 连续波检波灵敏度/检波频率响应/连续波检波平坦度校准框图

2)线性检波器：

测量方法与平方率检波器相同，最后利用输出电压 V_{out} （单位为 mV）与输入至检波器的电压值 V_{in} （单位为 mV）进行比较 V_{out}/V_{in} 。

3)对数检波器：

测量方法操作步骤与平方率检波器相同。首先需对一输入至检波器的功率参考值 $P_{in0(dB)}$ 下的输出电压 V_{out0} 进行测量，参考至 $P_{in0(dB)}$ 需在对数检波器的线性区内；之后对其它功率 $P_{in(dB)}$ 下的输出电压 V_{out} 进行测量，通过公式 $(V_{out}- V_{out0})/(P_{in(dB)} - P_{in0(dB)})$ 进行计算，完成对数检波器连续波检波灵敏度项目的校准。

c.检波频率响应

1)平方率检波器：

平方率检波器检波频率响应项目按图 2 所示校准框图进行校准。在输入至被校检波器连续波信号功率 P_{in}

	不变的情况下，首先的参考频率下对检波器输出电压值 V_0 进行记录，之后改变工作频率，再次对检波器输出电压值 V 进行记录，通过对两个电压值进行比较，完成此频率下检波频率响应的校准。比较公式为： $10\log_{10}(V/V_0)$。 2)线性检波器： 线性检波器检波频率响应项目按图 2 所示校准框图进行校准。在输入至被校检波器连续波信号电压 V_{in} 不变的情况下，首先的参考频率下对检波器输出电压值 V_0 进行记录，之后改变工作频率，再次对检波器输出电压值 V 进行记录，通过对两个电压值进行比较，完成此频率下检波频率响应的校准。比较公式为：$20\log_{10}(V/V_0)$。 3)对数检波器： 对数检波器检波频率响应项目按图 2 所示校准框图进行校准。首先在参考频率下调节输入至被校检波器连续波信号功率 $P_{in0(dB)}$，此时记录检波器输出电压值 V_{out}。之后改变工作频率，调整输入至被校检波器连续波信号功率 $P_{in(dB)}$，使得检波器输出电压值 V_{out} 保持不变，记录 $P_{in(dB)}$。通过公式 $P_{in(dB)} - P_{in0(dB)}$，完成此频率下检波频率响应的校准。 d.连续波检波平坦度 1)平方率检波器：
--	---

平方率检波器连续波检波平坦度项目与检波频率响应项目操作步骤相同。在所测量所有频率点内，选取最大输出电压值 $V_{\max}$ 与最小输出电压值 $V_{\min}$ ，通过公式 $10\log_{10}(V_{\max}/V_{\min})$ 进行计算，得到平方率检波器平坦度。

2) 线性检波器:

与平方率检波器操作步骤相同，公式变为 $20\log_{10}(V_{\max}/V_{\min})$ 。

3) 对数检波器:

对数检波器连续波检波平坦度项目与其检波频率响应项目操作步骤相同。在所测量所有频率点内，选取输入至被校检波器连续波信号最大功率 $P_{\max(\text{dB})}$ 与最小功率 $P_{\min(\text{dB})}$ ，通过公式 $P_{\max(\text{dB})} - P_{\min(\text{dB})}$ 进行计算，得到对数检波器平坦度。

最大输出电压值 $V_{\max}$ 与最小输出电压值 $V_{\min}$ ，通过公式 $10\log_{10}(V_{\max}/V_{\min})$ 进行计算，得到平方率检波器平坦度。

e.脉冲检波灵敏度

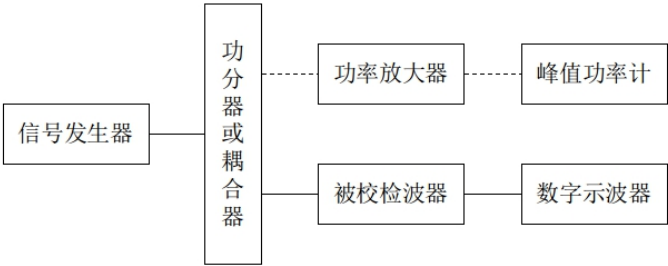


图3 脉冲检波灵敏度校准框图

1) 平方率检波器

	平方率检波器脉冲检波灵敏度项目按图 3 所示校准框图进行校准。通过信号发生器输出一脉冲调制信号，利用功分器或耦合器将信号分为两路，功分器一路/耦合器耦合端接峰值功率计（若信号功率较小，峰值功率计无法测出时，需在其前端加一功率放大器），功分器另一路/耦合器直通端接被校检波器输入端。利用峰值功率计监视输入至被校检波器的脉冲功率值，利用数字示波器对被校检波器的输出脉冲电压进行测量。利用输出电压 V_{out}（单位为 mV）与输入值检波器的功率值 P_{in}（单位为 mW）进行比较 V_{out}/P_{in}，完成检波器连续波检波灵敏度的校准。 2）线性检波器 测量方法与平方率检波器相同，最后利用输出电压 V_{out}（单位为 mV）与输入值检波器的电压值 V_{in}（单位为 mV）进行比较 V_{out}/V_{in}。 3）对数检波器 测量方法操作步骤与平方率检波器相同。首先需对一输入至检波器的功率参考值 $P_{in0(dB)}$ 下的输出电压 V_{out0} 进行测量，参考至 $P_{in0(dB)}$ 需在对数检波器的线性区内；之后对其它功率 $P_{in(dB)}$ 下的输出电压 V_{out} 进行测量，通过公式 $(V_{out} - V_{out0}) / (P_{in(dB)} - P_{in0(dB)})$ 进行计算，完成对数检波器连续波检波灵敏度项目的校准。
--	---

	f.上升时间 上升时间项目按图 4 所示校准框图进行校准。信号发生器将脉冲调制信号输入至被校检波器输入端口，利用数字示波器对被校检波器输出包络波形进行测量。通过数字示波器直接读出包络波形的上升时间。 信号发生器 被校检波器 数字示波器 图 4 上升时间校准框图
水平	□国际先进 ■国内先进
国内外情况 简要说明	1.JJF(军工)76-2022 《微波二端口器件校准规范》中已经对检波器输入端口驻波比、检波频率响应以及连续波检波平坦度参量的校准进行了规范，GJB2650-1996 《微波元器件性能测试方法》中对检波器输入端口驻波比、连续波检波灵敏度以及检波频率响应参量的测量方法进行了规范，但是上述两个标准中均没有对脉冲检波灵敏度以及上升时间参量进行规范，而脉冲检波灵敏度以及上升时间在高功率微波装备测量技术中的应用非常广泛，所以对此两个参量进行规范非常有必要。 2.未发现知识产权、设计专利的情况。

推荐意见		微波脉冲检波器主要功能是对微波连续波信号的功率参数进行测量以及对脉冲调制信号的包络波形进行解调，是频谱分析仪、网络分析仪、峰值功率计等仪器的关键测量器件，广泛应用于微波通用测量仪器仪表、通信设备、高功率微波关键参数测量等领域。但目前国家及行业没有相应的计量技术规范，不能满足计量需求，因此有必要编制本规范。建议书给出的计量特性和技术方案基本合理，可满足微波脉冲检波器的校准需求。 建议立项。			
主要 起草单位	(签字、盖 公章) 月 日	技术 委员 会	(盖公章) 月 日	部委托 支撑 单位	(盖公章) 月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写“■”的符号。
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。