

电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	交流标准电阻器校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	中国电子科技集团公司第二十研究所		
联系人	罗政元	联系电话	13087588608
任务年限	2 年	申请经费	3 万元
参加单位	中电科瑞测（西安）科技服务有限公司		
目的、意义和必要性	<p>1、目的</p> <p>交流标准电阻器是一种用于交流阻抗测量仪器计量的标准器，通常是由一组高精度交直流电阻器通过精密结构排布并屏蔽固定而成。由于其交流电阻年稳定性高、交流电阻示值误差小、工作频率范围宽等多种优点，而被国家、行业和区域最高计量技术机构作为交流阻抗测量标准或配套标准使用。</p> <p>目前国内对交流标准电阻器的校准主要参考 JJF1636-2017《交流电阻箱校准规范》及 JJF（电子）0008-2015《交流电阻箱校准规范》，但上述两项现行有效计量技术规范规定的适用范围、测量范围范围和计量特性均无法满足交流标准电阻器的实际计量和使用需求，主要体现在频率范围上限过低、电阻级别过低、缺少对交直流差和年稳定性参数的计量且计量方法不完全适用于交流标准电阻器的校准等方面，故目前国内无能够完全适合交流标准电阻器校准方法和计量特性的计量技术规范，交流标准电阻器的校准方法处于空缺状态，急需编制相应校准规范。</p>		

2、意义和必要性

随着交流阻抗元器件及测量仪器制造工艺的进步，我国乃至国际对交流电阻元器件的技术指标需求逐年上升，同时对交流电阻进行测量的 LCR 仪等测试设备的技术指标也随之越发提高，这些都主要表现在对交流标准电阻器的工作频率、年稳定性等级和交直流差等技术指标的极大提高上，由此导致对交流电阻参数的溯源需求也日益提升。而交流标准电阻器正是对交流阻抗参数和交流元器件进行量值溯源和量值传递的主标准器，其示值误差小、稳定性高、使用频率范围宽，被广泛作为主标准器应用于我国各部门和区域最高计量技术机构中。因此，其主要代表型号的典型技术指标如下表所示。

型号及品 牌	7334 系列 (GUILDLINE)	42030A (KEYSIGHT)	SB28010/ SB2019 (广州赛宝)	KP-16502 (成都开谱)
电阻范围	1Ω~10kΩ	1mΩ~100kΩ	1mΩ~1MΩ	0.1Ω~1MΩ
初始最大 允许误差	±0.0002%	±(0.08%~1.5%)	±(0.05%~0.15%)	±(0.05%~0.5%)
年稳定性	±0.00025%	±0.01%	±(0.05%~0.15%)	±(0.05%~0.5%)
交直流差	± (0.0001%~0.0003%)	±(0.08%~1.5%)	--	--
频率范围	DC~1MHz	DC~13MHz	DC~13MHz	DC~1MHz
接线方式	四端	四端对	四端对	四端对

由上表可见，目前国内、国外主流仪器制造商生产的交流标准电阻器电阻范围通常可达到 1m Ω ~1M Ω ，频率范围最大可达 13MHz。而目前 JJF1636-2017 及 JJF（电子）0008-2015 均无法覆盖交流标准电阻器的大部分使用点。

综上，有必要制定符合我国计量体系及要求的交流标准电阻器校准规范。

	<p>3、先进性和亮点</p> <p>国际电工委员会 IEC 已于 2022 年 3 月发布了交流电阻器的最新国际标准 IEC 60477-2: 2022《实验室电阻器第二部分：实验室交流电阻器》，替代了 1979 年版本，以适应交流电阻器技术指标和使用需求提升，主要修订内容包括提高交流电阻器的频率范围（由 100kHz 提升至 1MHz）、增加了电阻器交直流差的技术指标及定级方式等。</p> <p>而我国现行的 JJF1636-2017 及 JJF（电子）0008-2015 校准规范因编制较早，参照的均为 1979 年版 IEC 60477-2 国际标准，造成其都无法覆盖和满足现有的交流标准电阻器的计量特性。主要体现在上述两项国内计量技术规范使用频率及计量特性等关键技术指标无法覆盖最新国际标准 IEC 60477-2: 2022《实验室电阻器第二部分：实验室交流电阻器》的范围；另外，上述两项国内计量技术规范仅针对交流电阻箱进行校准，而交流电阻箱的接线方式、使用 and 校准方法都与交流标准电阻器有区别。</p> <p>本校准规范将综合当前国际国内最先进交流标准电阻器的原理和技术指标进行校准方法编制，参照最新版交流电阻国际标准 IEC 60477-2: 2022 的要求合理确定计量特性等重要参数，从而使本校准方法达到国内领先水平，同时可指导国内制造商按照国际标准对交流标准电阻器的技术指标进行正确标识。</p> <p>4、查新结果</p> <p>目前我国仅有 JJF1636-2017《交流电阻箱校准规范》及 JJF（电子）0008-2015《交流电阻箱校准规范》两项相关计量技术规范可供参考使用，但受限于其适用的交流电阻箱结构及工作原理与交流标准电阻器的差异，上述两项校准规范均无法全面覆盖现有交流标准电阻器的计量特性，其具体计量特性如下表所示：</p>
--	---

计量特性名称	JJF1636-2017	JJF（电子） 0008-201□	国际国内交流标准 电阻器技术指标
频率范围	DC~100kHz	DC~10kHz	DC~1MHz
电阻范围	1mΩ~10MΩ	10mΩ~1MΩ	1mΩ~10MΩ
电阻示值误差	±（0.01%~10%）	±（0.05%~10%）	±（0.0002%~10%）
年稳定性	无	无	±（0.0002%~10%）
交直流差	无	无	±（0.0001%~1%）
时间常数	1ns~100μs	无	1ns~100μs
残余电阻	≤10m Ω	<0.05 Ω	不适用
残余电感	≤12μH	无	不适用

由上表可以看出如果参照现行计量技术规范在校准交流标准电阻器时存在如下不适用情况：

（1）频率范围无法覆盖交流标准电阻器适用范围：目前国际主流标准器制造厂商生产的交流标准电阻器频率上限可达 13MHz，且 IEC 60477-2：2022 中规定的交流电阻器上限频率也达到了 1MHz。而由于交流电阻箱结构中存在大量拨盘开关、连接导线较多较复杂及外屏蔽层结构的限制，导致交流电阻箱频率上限一般仅能达到 10kHz，最高也无法超过 100kHz，而 JJF1636-2017 及 JJF（电子）0008-2015 是专门为校准交流电阻箱编制的校准规范，并未兼顾交流标准电阻器的校准，故上述两个现行有效的国家和行业相关校准规范频率范围无法适应高达 1MHz 交流标准电阻器的校准；

（2）示值误差（准确度等级）范围不适用：交流电阻箱受限于结构劣势，且一般仅以二端或三端方式输出交流电阻值，导致其最优的最大允许误差或准确度等级较低，示值通常仅能达到 ±0.05%，最优示值误差也仅能达到 ±0.01%，造成 JJF1636-2017 最优等级为 0.01 级、JJF（电子）0008-2015 最优等级为 0.05 级。而交流标准电阻器因内部无多余引线及开关组件，且制造工业校交流电阻箱更为精密，目前已知交流标准电阻器最优示值误差可达到 ±0.0002%，故前述两项交流电阻箱校准规范均无法对高指标交流标

	<p>准电阻器进行校准；</p> <p>（3）交直流差、年稳定性等关键计量特性缺失：根据最新版国际标准 IEC 60477-2：2022 的要求，交流标准电阻器定级需根据初始误差（initial calibration）或交直流差（AC/DC difference）确定、我国对标准电阻类实物量具定等则是根据示值误差和年稳定性进行综合确定的，这就要求在校准交流标准电阻器时，需要给出被校交流电阻器的交直流差和年稳定性的关键计量特性的具体数值。而 JJF1636-2017 和 JJF（电子）0008-2015 因发布日期较早，无法跟踪最新的国际标准更新，故缺失交直流差、年稳定性等计量特性的校准方法和计算公式，造成无法按国际、国内现行通用方法对交流标准器进行定等、定级等操作，也间接造成国内交流标准电阻器制造商在技术指标中对交直流差和年稳定性两个关键技术参数未体现或体现不全，造成关键技术指标缺失；</p> <p>（4）由于交流电阻箱内部大量引线和开关的存在，造成交流电阻箱自身存在初始的残余电阻和残余电感，故 JJF1636-2017 和 JJF（电子）0008-2015 对相关参数提出了计量特性要求和校准方法描述，而交流标准电阻器内部结构决定了其不存在残余电阻，同时参与电感也可忽略不计，故不需要对残余电阻和残余电感进行校准；</p> <p>综上，目前国内现行有效的相关计量技术规范均无法满足目前国际国内生产的交流标准电阻器的校准工作。</p> <p>本校准规范编写旨在参照最新版交流电阻器国际标准，全面覆盖目前最新型号各类交流标准电阻器的计量特性，同时增补缺失的校准方法，以确保交流标准电阻器能够得到全面、准确的校准数据，从而引领本行业准确、全面使用交流标准电阻器。因此本单位申请制定交流标准电阻器校准规范。</p> <p>本校准规范的编制，将使交流标准电阻器的计量具有依据、对其的量值溯源和传递提供可靠方法保障。</p>
--	---

产业链应用	<p>1. 重点产业链方向</p> <p>交流电阻作为一种高精度、高稳定性的实物标准器，被广泛应用于通用仪器仪表、新能源汽车、集成电路和元器件制造筛选等产业领域，是电学基础科学研究、新能源电池系统内阻测量和交流阻抗类精密元件生产制造及计量的最重要的标准计量器具之一。</p> <p>习近平总书记强调：“要打好科技仪器设备国产化攻坚战，提升国产化替代水平和应用规模，争取早日实现用我国自主的研究平台、仪器设备来解决重大基础研究问题。”而交流电阻器正是国产通用仪器仪表中常见的大批量使用的基础元器件和主要测量参数之一，近年来国产通用仪器尤其是交流阻抗类测量仪器跨越式发展成果显著，如何保证宽测量范围、高频率范围下交流阻抗和交流电阻的量值准确就称为迫切需要解决的问题。</p> <p>随着仪器仪表行业的发展，随之而来的是其内部大量使用的集成电路元器件，而交流电阻又是集成电路和元器件制造筛选中极为注重的技术指标，因此交流电阻和阻抗的准确测量在这一产业链领域的需求也随之与日俱增。</p> <p>同时，随着我国新能源汽车在全球范围的热销，配套的电池包性能监测也愈发重要，而评价电池包性能最重要的参数之一便是电池内阻，而电池内阻需要直接溯源至交流标准电阻器，所以交流电阻在系能源汽车质量提高方面也扮演着越来越重要的地位。由于我国无交流标准电阻器计量技术规范，导致很多计量机构仅将电池内阻测试仪相关标准器溯源至直流电阻，存在溯源链不合理，有可能导致存在较大的示值误差。</p> <p>由于我国在交流电阻计量领域现有计量方法都较为老旧、电阻生产商和计量机构仍使用 1979 年版的国际标准转化而来的国内规范，造成测量范围过窄、测量方法滞后。对交流标准电阻器校准规范的研究与编制，能显著、有效提高通用仪器仪表、新能源汽车、集成电路中交流电阻和阻抗的溯源精度，为未来我国在国产仪器研制生产溯源、新能源电池性能评价及基础科学研究领域提供所需的</p>
-------	--

	<p>冗余和备份能力。</p> <p>2. 对本行业重点产业链的支撑作用</p> <p>本校准规范的编制，首先能够对标国际上对交流标准电阻器的最新要求，使本行业在交流电阻器计量方面紧跟国际趋势；其次，填补国内在交流标准电阻器计量校准方面的行业空白，起到带头示范和支撑作用，从而保证交流标准电阻器量值溯源和传递有法可循有法可依，最终保证交流标准电阻器量值的准确、可靠。</p> <p>因此，本规范的编制和发布，能够使我国各行业尤其是电学计量行业、电子元器件筛选行业、电学基础科学研究行业的交流阻抗测量能力得到进一步的提升，并对相关产业链的高质量发展提供必要和充足的支撑作用。</p>
范围和主要 计量特性	<p>1、 计量技术规范的适用范围</p> <p>本规范适用于工作频率范围为 50Hz~1MHz、电阻范围 1mΩ~10MΩ 的交流标准电阻器的校准。</p> <p>2、 计量特性：</p> <p>(1) 电阻范围：1mΩ~10MΩ（50Hz~1MHz）</p> <p>(2) 示值误差：±（0.0001%~10%）</p> <p>(3) 年稳定性：±（0.0001%~10%）</p> <p>(4) 交直流差：±（0.0001%~1%）</p> <p>(5) 时间常数：1ns~100μs</p> <p>3、主要测量标准的技术指标</p> <p>(1) 仪器名称：LCR 测试仪或阻抗分析仪</p> <p>电阻测量范围：1mΩ~10MΩ</p> <p>频率范围：50Hz~1MHz</p> <p>最大允许误差：±（0.002%~2%）</p> <p>短期稳定性：在同标称值替代法中用作过渡标准时，其交流电阻测量的短期稳定性应不大于被校交流标准电阻器最大允许误差绝对值的 1/10。</p>

(2) 仪器名称：交流标准电阻器

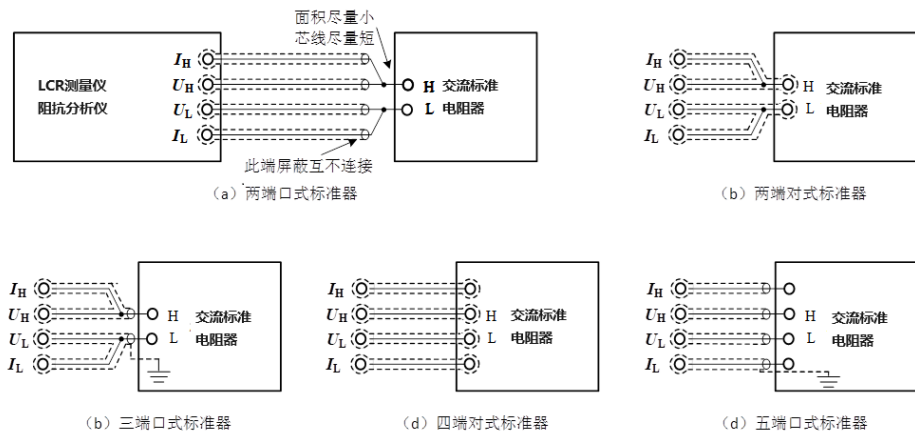
电阻范围：1mΩ~10MΩ

频率范围：50Hz~1MHz

电阻等级：0.0001 级及以下

4、简要描述计量项目的技术原理

4.1 测量时的接线方式：交流标准电阻器相对于已有计量技术规范的交流电阻箱而言，其端口接线方式更为多样，通常包含二端口、二端对、三端口、四端对及五端口等形式，对不同端口的交流标准电阻器，其接线方式有较大不同，如果接线方式错误，会造成交流电阻值（尤其在高频段）测量误差变大。故本规范的重点之一便是参照 IEC 60477-2：2022 中各种电阻接口的结构原理，规定不同端口的标准接线方式，总结如下图所示：



4.2 交流电阻值的测量：由于交流标准电阻器准确度等级跨度较大，对其阻值的测量方法拟分为两种。

(1) 对于准确度等级为 0.05 级及以下的交流标准电阻值，由于计量标准器 LCR 仪或阻抗分析仪最大允许误差最优指标能够达到 $\pm 0.01\%$ 甚至 $\pm 0.005\%$ ，可以采取直接测量法，即使用标准器 LCR 仪或阻抗分析仪在被校交流标准电阻器全频率范围内直接测量其交流电阻值；

(2) 对于优于 0.05 级的交流标准电阻器，由于目前各仪器厂商生产的 LCR 仪或阻抗分析仪技术指标无法满足优于被校交流标

	<p>准电阻允许误差 1/3 的要求，无法直接对被校交流标准电阻器进行测量，此时应采用同标称值替代法。即标准器应选择与被校电阻器标称值相同的高等级标准交流电阻器，且 LCR 仪或阻抗分析仪作为过渡测量设备，通过短期内使用 LCR 仪等过渡设备分别测量高等级标准交流电阻器 R_s 阻值在 LCR 仪的示值 A_s 和被校电阻器 R_x 阻值在 LCR 仪的示值 A_x，利用如下公式获得被校交流标准电阻器的实际值：</p> $R_x = R_s + (A_x - A_s)$ <p>4.3 交直流差的测量：交直流差的定义是国际标准 IEC 60477-2 最新版（2022 版）最新引入的技术指标要求，此前各类相关标准和国内相关计量技术规范均未涉及该计量特性的校准方法。本规范按照 IEC 60477-2: 2022 对交直流差的定义要求，引用 JJG 166-2022 规定的方法首先测量被校交流标准电阻器的直流电阻值 R_{DC}，再使用前述 4.1 中提及的两种方法测量被校交流标准电阻器的交流电阻值 R_{AC}，根据如下公式获得被校交流标准电阻器的交直流差 Δ_{AC-DC}：</p> $\Delta_{AC-DC} = (R_{AC} - R_{DC}) / R_{DC} \times 100\%$ <p>4.4 时间常数的测量：根据 IEC 60477-2: 2022 对时间常数的定义，按照不同的等效电路，其时间常数计算公式分别为：</p> $\tau_s = L_s / R_s \quad (\text{串联等效电路})$ $\tau_p = R_p \times C_p \quad (\text{并联等效电路})$ <p>因此对时间常数的测量可以转化为使用 LCR 测量仪或阻抗分析仪直接测量交流标准电阻器等效电路中的电阻和电感或电容后，通过代入上述两个计算公式直接计算获得。</p>
水平	<div> <input type="checkbox"/> 国际先进 <input checked="" type="checkbox"/> 国内先进 </div>
国内外情况 简要说明	<p>1.与国内外相关技术规范之间的关系</p> <p>本规范是根据国际电工委员会 IEC 最新国际标准 IEC 60477-2: 2022 《实验室电阻器第二部分：实验室交流电阻器》编写，而 IEC 60477-2: 2022 相对上一个替代版本（即 1979 年版本），主要修订内容包括提高交流电阻器的频率范围（由 100kHz 提升至 1MHz）、</p>

增加了电阻器交直流差的技术指标及定级方式等。故本规范在计量特性方面完全遵从 IEC 60477-2: 2022 的最新计量特性及定级要求编写；同时考虑到国际国内众多交流标准电阻器制造商的实际产品特点和我国交流电阻量值溯源和传递实际能力情况，将电阻器最终频率范围确定为 50Hz~1MHz，这样更符合实际计量和使用需求。

国内方面，我国现行有效相关计量技术规范为：JJF1636-2017《交流电阻箱校准规范》及 JJF（电子）0008-2015《交流电阻箱校准规范》（注：JJF（电子）0008-2015 为本编写小组起草编制）。首先，上述两个规范均参照 IEC 60477-2 的 1979 年版本编写，不符合国际上最新 2022 版对交流电阻器更全面的计量特性要求；其次，上述两个现行有效规范校准对象均为交流电阻箱，而不是本规范的交流标准电阻器，由于交流电阻箱技术指标相对较低，这就造成如下五部分内如不适用于校准交流标准电阻器：（1）交流电阻箱工作频率范围过窄，无法覆盖交流标准电阻器适用频率范围；（2）示值误差（准确度等级）范围等级较低，不适用于校准高等级交流标准电阻器；（3）交直流差、年稳定性等关键计量特性缺失；（4）交流标准电阻器不需要校准 JJF1636-2017 和 JJF（电子）0008-2015 规定的残余电阻和残余电感参数；（5）交流标准电阻器接口方式种类繁多，而 JJF1636-2017 和 JJF（电子）0008-2015 均只规定了二端和三端接线方式，不适用于交流标准电阻器计量时的测量接线方式。

综上，我国目前现行有效的计量技术规范均无法满足交流标准电阻器的校准工作，急需编制能覆盖交流标准电阻器计量特性和符合其工作原理的校准规范。

2、指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况
不涉及知识产权与专利的问题。

推荐意见		交流标准电阻器是交流阻抗元器件测量设备研制和校准的主要标准仪器，广泛应用汽车电子、国产仪器等重点行业。但目前国家及行业计量技术规范不能满足该仪器的计量需求，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 2，3，10 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。