**国家市场监督管理总局重点实验室（电学量子基准）**

**2025年度开放课题申请指南**

**1、高温超导量子电压标准双晶基底介电性能研究**

**拟解决问题：**约瑟夫森量子电压标准要达到实用的输出电压，需要将多个约瑟夫森结串联，并使得每个结能够在相同的直流偏置电流下与驱动微波达到相位锁定，这就要求实现良好的约瑟夫森结阵列一致性和驱动微波均匀性。高温超导量子电压标准主要基于法布里-珀罗谐振腔驱动的YBCO双晶结阵列，结阵列中的微波电流分布受到双晶基底的介电性能的影响，其空间周期性与基底的介电常数有关，而微波电流衰减与基底的介电损耗有关。为了改善结阵列的微波耦合，需要在结阵列电路设计时考虑双晶基底的影响，因此有必要研究高温超导量子电压标准的常用基底材料在具体环境温度与工作频率下的介电性能。

**研究内容：**研制1套用于表征高温超导量子电压标准双晶基底介电性能的测试模块。被测样品一般为边长不超过20mm的正方形薄片。该测试模块应当具备同轴输入输出接口，可以搭配网络分析仪或定向耦合检波器等常用仪表，进行液氮温区、70 GHz频段的测试。基于介电性能测试模块，进一步对包括LSAT在内的3种常用基底材料进行介电性能测试表征。

**考核指标：**完成3种基底材料在液氮温区、70 GHz频段的介电常数测试；微波通带覆盖70 GHz ~ 75 GHz；允许输入的微波功率覆盖-10 dBm ~ +5 dBm。

**2、宽频可编程电压比例技术研究**

**拟解决问题：**在电磁计量中，阻抗量值传递和电压量程扩展技术中，均需实现高精度电压比例技术。研制宽频可编程电压比例技术对提高阻抗单位的复现水平，促进计量技术发展具有重要意义。本项目拟解决传统传统机械式的开关/继电器切换速度慢的问题，实现高耐压和高隔离度数字开关技术，实现传统感应分压器和数模转换器组合分压技术，进而实现宽频可编程交流电压比例标准设计，支撑高精度数字交流电桥研制、宽频电压量程扩展计量。

**研究内容：**研制一种宽频可编程交流电压比例标准，采用可编程感应分压器（PIVD）和乘法型数模转换器（mDAC）组合分压，可实现分辨率优于1 μV/V的任意交流电压比例标准信号输出；研究基于MOSFET的高耐压和高隔离度数字开关，实现感应分压器的可编程控制；研究基于注入电压法的组合分压技术；针对系统中杂散参数引入的分压误差进行了分析并提出相应的软硬件修正方法。

**考核指标：**可编程交流电压比例标准1套，工作频率为50 Hz~10 kHz，1 kHz下比率误差优于1 μV/V，角度误差优于5 μrad。

**3、能量天平磁链差同步触发积分测量技术研究**

**拟解决问题：**能量天平法复现千克研究中，分为测力和测磁链差两个过程。测磁链差过程中，采样积分系统对悬挂线圈与磁体相对运动时产生的感应电势进行积分，磁体启动和停止时存在两个过渡过程，无法用可编程约瑟夫森量子电压标准（PJVS）产生标准电压进行补偿后测量，限制了磁链差测量准确度进一步提升。本项目提出位移和磁链差同步触发的测量方案，可避开加速和减速阶段的影响，即仅测量匀速运动阶段的感应电压，采用PJVS产生的标准电压补偿后，再经放大后送入积分测量系统，有望提升磁链差测量的不确定度水平。

**研究内容：**研制一套基于多开关、多斜率积分架构可编程电压积分测量系统，实现磁链差信号的触发积分测量。研究积分测量过程中噪声引入机理、结果漂移产生机理，提出一种多径积分测量方法，实现漂移误差的实时补偿。研究积分测量系统校准方法，结合PJVS系统实现全量程、连续时间的增益系数校正。研制一套同步触发控制系统，用于触发控制电压积分装置、位移测量系统同步触发采样。

**考核指标：**1）磁链差积分测量系统量程：0 ~ 1.2 V；2）积分准确度：每百秒的积分误差在E-7 Vs水平；3）同步延迟：< 100 ns。