

# 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目申报表

项目名称：小电容介质损耗角的数字化测量研究				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学号	专业	性别	入学年份
吴锦霖	201555110116	电子科学与技术	男	2015
郭富林	201555110118	电子科学与技术	男	2015
罗佳辉	201555110112	电子科学与技术	男	2015
唐恺	201555110106	电子科学与技术	男	2015
指导教师	邓小清、贺慧勇	职称	教授 教授	
项目所属一级学科	理科	项目科类(理科/文科)	理科	
学生曾经参与科研的情况 1. 在长沙理工大学的十一届“物电杯”电子设计创新大赛中荣获“天冠工匠奖” 2. 参与创新实验室培训				
指导教师承担科研课题情况 • 贺慧勇 贺老师从教以来先后讲授《EDA 技术基础》、《电子线路 CAD》、《数学物理方法》等课程。获校级教学成果二等奖一项，指导本科生参加大学生电子设计竞赛多次获得全国一等奖。先后主持或参与国家和省级科研项目多项，其中参与国家“十一五”科技支撑计划项目 1 项（排名第三）。完成电力、机电、包装和医疗电子等领域应用研究项目和产品开发项目多项，已授权并且在电力系统成功实施的专利 2 项（排名均为第二）。近三年发表研究论文 6 篇，其中 SCI 收录 3 篇，EI 收录 2 篇。				

## 项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

电容的介质损耗是其阻抗特性的参数之一。在模电与电路课程中都有关于阻抗相关的理论知识。本项目将从书本上的理论知识出发，结合实际测量方法，设计具体的电路，研究小电容在交流激励下的介质损耗特性。

由于小电容在低频交流激励下的阻抗很大，微弱的电流干扰都可以形成巨大的噪声电压，影响测量结果。而较高的激励频率会导致信号处理电路的成本与制作难度增加，对于电路的布局布线要求也成倍提高，同样不适用于小电容的介质损耗测量。设计与制作小电容交流激励下的介质损耗测量电路首先要提高电路的抗噪声指标，其次由于测量对象的介质损耗值较小，对于测量精度也有较高的要求。

传统阻抗测量使用的方法，大多是手动调节的模拟电桥法，其自动化程度与实验可重复性较差。使用数字式测量方法，可以大幅提高介质损耗测量的自动化程度和实验可重复性，并且能较好的体现结果。

本项目将结合电路理论和单片机数字系统知识，研究小电容介质损耗参数的测量。最终将模拟数据数字化，计算出小电容的介质损耗角。

## 国内外研究现状和发展动态

介电谱基本原理最早由德拜（荷兰科学家）在 1913 年提出来的，被用于测定分子的偶极矩和研究液体及固体的结构。国外从 20 世纪三十年代开始，介电谱分析技术从实验室逐渐走向工业生产，对高聚物的开发和应用起了一定的促进作用。

介质损耗测量仪主要分为两大类：一类是基于电桥法的传统测量仪器，通过调节各个桥臂的阻抗使电桥平衡来读出被测对象的电容值和介质损耗角。另一类是使用数字式半桥电路获得被测对象的电压、电流信息，利用模数转换芯片将测量结果变成数字量，输入到微处理器进行数学运算得到介质损耗角和电容值。

基于电桥原理的介质损耗测量仪主要有安徽省电力研究所研制的“P5026M”型交流电桥，武汉联欣电力技术有限公司研制的“QS97 系列数字高压电桥”等。这类基于电桥原理的介质损耗测量仪大多操作复杂，自动化水平低，常常出现电桥无法平衡，测量误差过大的问题。另外西林电桥是高压电桥的一种，使用时需要高电压接入桥臂两端。当测试电源具有较大的谐波干扰时，即使基波电压已经平衡，检流计仍然不能指零。

随着半导体和微电子技术的迅速发展，开始慢慢出现数字式自动介质损耗测量仪。其代表产品有，迪奥克电气有限公司的“GWS—1 型光导微机介质损耗测量仪”，武汉高压所的“WG-25 微电脑异频介质损耗测量仪”等。数字式介质损耗测量仪一般都具有量程广，功能全，能自动测量并生成介质损耗正切值与温度的关系图。在短时间内，快速计算出 的陡升拐点温度，其大多具有自动校正和补偿功能，抗干扰能力强。

相较国内的介质损耗测量仪，国外的典型产品在性能上要略胜一筹。国外介损测量仪的代表产品有：美国的 DELTA—2000 (10KV Automated Insulation Test Set)。其原理上属于高压流比器，装置上集成了小型计算机系统，智能化分析程度高；德国 LEMKEDIAGNOSTICS 公司的 LDV-5 型介质损耗测量仪，仪器基于 DSP 芯片设计，能实现 10-400Hz 频率范围内的介损自动测量。仪器具有响应速度快，测量范围广，智能化程度高的特点。

目前国内生产的介质损耗测量仪在测量的准确性跟可靠性上都有了很大的进步，但依然存在着许多的问题。例如在外界干扰较强时仪器的测量可重复性不佳，或者需要很长的测量时间，有时也会出现测试误差大等问题。这些问题限制了其推广使用。与国内介质损耗测量仪相比，国外的相对来说更加成熟，测量更加准确，抗干扰能力更强，然而价位也比较高。针对当前存在着许多实际的问题，数字式自动介质损耗测试仪还有很长的路要走，需要不断的完善与发展。对介质损耗因数测量技术的研究主要集中在对检测方法的改善上。

#### 本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

团队成员均已深入学习 51 单片机及常用外设，而且有组员在进行 stm32 单片机的学习，熟悉单片机编程和部分底层驱动程序的编写。大部分接受过物电实验室培训，对焊接、常用实验仪器等十分熟悉，且长期在实验室学习，有过一些芯片的使用经验。有较好的理论功底，能计算交流频率下的电容阻抗和相位角。

查阅了大量的关于绝缘介质损耗测量的文献。

曾做过单片机简易波形发生器，参加物电杯电子设计比赛。

熟悉 Multisim, TINA 仿真软件的模拟电路分析。

#### 项目的创新点和特色

电路具有一定的抗噪声能力

测量电路小型化

较高的介质损耗测量精度

模拟信号数字化处理

立足基础理论的实际问题探索研究

#### 项目的技术路线及预期成果

##### 1、分析介质损耗测量的基本原理

结合理论知识，查找相关论文资料，确定初步的小电容介质损耗测量模型。

##### 2、调研并提出测量方法

总结测量方法，对部分的测量方法进行仿真论证，总结之前得到的结果，并结合测量模型提出电路设计方案。

##### 3、电路方案论证

搭建仿真电路图，进行仿真论证，记录各项仿真数据。

##### 4、进行硬件电路与软件流程的设计

根据提出的方案绘制原理图，打样 PCB 板，并编写测试软件。

##### 5、调试电路与软件

焊接电路，加载测试程序，进行通电检测观察是否正常工作。

##### 6、测量结果与分析

实测电路的各项指标，与仿真结果进行比较。根据结果修改电路参数，使电路达到预期指标。将最终结果与标准电桥测量结果进行比对，分析误差原因。

预期成果:

实现小电容的介质损耗数字测量电路设计

分析测量结果，并做测试报告。

年度目标和工作内容（分年度写）

年度目标和工作内容

2016/12-2017/2

- ① 完成模型阻抗模型的建立与基本测量原理的研究；
- ② 调研小电容介质损耗测量的现状，明确当前国内小电容介质损耗测量仪器的不足之处。并对调研的结果做分析；
- ③ 针对前期研究学习结果，明确电路功能，性能指标，抗干扰能力。

2017/3-2017/5

- ① 调研可行的测试方法与系统设计方案，明确主体设计思路，制定系统设计方案；
- ② 各单元电路的设计，制作，调试；
- ③ 完成各单元电路的级联，并进行系统硬件电路初步调试。

2017/6-2017/9

- ① 根据功能性能要求与硬件电路，明确软件系统的功能，将软件分成若干个相对独立

的模块，并根据他们之间的联系和时间上的关系，设计出合理的软件总体结构；

- ② 完成各个软件模块的程序编写，编译和调试，最后将所有模块进行定位连接，形成完整程序；
- ③ 进行软件与硬件的联合调试。

2017/10-2017/12

- ① 进行电路的测试，根据前期确定的各项功能性能要求，进行逐项测试；
- ②对电路进行改进；
- ③完成结题报告。

指导教师意见

签字:

日期:

注: 本表栏空不够可另附纸张

