

成果 登记	登 记 号	2022-008
	批准日期	2022.4.16

科技成果鉴定证书

鉴 字 [2022] 第 008 号

成 果 名 称: 10Hz~130MHz 宽范围精密阻抗分析仪的研发

完 成 单 位: 常州同惠电子股份有限公司

常州大学

鉴 定 形 式: 会议鉴定

组织鉴定单位: 中国仪器仪表学会



鉴 定 日 期: 2022 年 4 月 16 日

鉴定批准日期: 2022 年 4 月 16 日

中国仪器仪表学会

简要技术说明及主要技术性能指标

阻抗测试仪广泛应用于电子元器件、半导体元件及材料、电化学、生物医学、航空航天、国防科技、高新武器装备、3C 电子、5G 移动通讯、新能源、电力电子、开关电源等领域，而我国高端阻抗测试设备完全依赖进口。目前，以自动平衡电桥技术为基础的阻抗产品主要以美国 Keysight E4990A 和英国 Wayne Kerr WK65120B 为代表，最高测量频率达 120MHz，该类高精度阻抗测试仪器也代表了国际阻抗测试仪器的最高水平，而国内此类产品的最高水平测试频率仅为 30MHz。进口仪器价格高达 40-60 万元、供货周期长达数月，维保及售后服务困难，严重制约了我国相关领域科学技术的发展。同时，受中美贸易战事件影响，实现进口替代、自主可控是我国电子工业必由之路。

本项目对标美国 Keysight E4990A 领先产品，旨在完成具有国际先进水平、拥有完全自主知识产权和竞争力的具有 10Hz~130MHz 宽范围高精度阻抗分析仪的研发。该仪器可在 10Hz~130MHz 全频段范围内对电子元器件阻抗参数进行高效测试分析，以快速判别失效产品，满足新型电子元器件的性能测试需求，打破国外技术的垄断。

一、特色及创新点

(1) 本项目研发了一种集程控高频率精度低失真度信号源、含混频的矢量信号检测、数字式程控平衡信号源等一体的数字化自动平衡电桥阻抗测试系统。该系统通过程控信号源产生 10Hz~130MHz 测试信号施加到被测件 DUT，同时产生矢量检测所需的本振信号，用于宽范围内矢量信号检测；通过电流误差检零器与数字式平衡信号源在量程电阻中产生与被测件电流大小相等，相位相反的平衡信号源，通过量程电阻取样被测件电流；通过带混频的矢量信号检测电路在宽范围内对被测件电压及电流信号进行测量。该测试系统实现了在 10Hz~130MHz 宽范围内对阻抗进行精确测量，最高测量精度达 0.08%。

(2) 针对高频信号精确检相和 AD 采样的难点，集成独创的低谐波混频采样技术。该技术由专门的数模混合方案和双通道 ADC 组成，在确保信号幅度和相位信息不变的条件下，降低信号频率，降低了 ADC 的要求，从而实现了 ADC 的国产替代使用。设计一体化测试系统及四端对测试配置，将低阻抗测试能力的下限提高了一个数量级，使测试精度达到 0.08%，达到或者超过了国外同类产品 E4990A、WK6565 的精度；

(3) 本项目发明了一种基于 DDS+PLL+DDS 的宽范围、高频率精度、低失真度的程控信号源及平衡信号源。该信号源通过第 1 个 DDS 产生可变频率的基准信号，该信号通过 PLL 进行 16 倍频后，作为第 2 个 DDS 的时钟源，从而可实现频率在 10Hz~130MHz 宽范围内的连续变化，且频率分辨率最高可达 $2.2 \times 10^{-13}\text{Hz}$ 。同时，该信号源通过 DDS 直接输出正弦信号，输出信号谐波少，失真度低，为阻抗的高精度测量提供保障。

(4) 采用高速取样及软件矢量检相技术的独创设计，结合数字高速同步取样电路，用数字方法替代以往硬件检相和多斜积分式 ADC，用软件算法实现正交矢量检相和数据

处理，提高了检相灵敏度和测试速度，最快测试速度达 2.5ms；

(5) 人机交互方面，采用模块式工业控制计算机及 Windows 操作系统，创造性地实现了阻抗分析与独立 LCR 测试融为一体，解决了国外进口仪器只能分析、无法单独测试的缺陷，同时采用单测和分析人机交互中英文操作界面，突破了传统国产仪器复杂繁琐的操作和进口仅有英文操作界面的问题，让测试更简单。

二、主要技术指标及经济指标

技术性能指标：

(1) 测试参数：Z（阻抗）、Y（导纳）、C（电容）、L（电感）、X（电抗）、B（电纳）、R（电阻）、G（电导）、D（损耗）、Q（品质因数）、 θ （相位角）、DCR（直流电阻）；

(2) 测试频率：10Hz~130MHz 连续可调，最高分辨率 1mHz；

(3) 测试电平：5mV~1Vrms，分辨率 1mV，精度 $\pm 5\%$ ；

(4) 测量准确度：1kHz 0.08%，1MHz 0.08%，2MHz 0.5%，10MHz 1.0%，130MHz 5.0%；

(5) 测量速度：最高 2.5ms/次；

(6) 信号源输出阻抗：25 Ω 、100 Ω 可选；

(6) 校准功能：开路、短路和负载校准；

(7) 测量端：4 端对

(8) 多功能任意窗口阻抗分析功能

(9) 等效电路分析：3 元件模型：4 个、4 元件模型：3 个。

(10) 列表扫描：1601 点频率或电平列表扫描，以数据或图形方式显示；

(11) 接口：GPIB、USB HOST、USB DEVICE、LAN、VGA、HANDLER、RS232、HDMI；

推广应用前景与措施

由于电子元器件广泛应用于卫星、信息、军工、移动通讯、电子电器和航天航空等行业的整机中，这些重要整机也要求电子元器件具有较高的可靠性、使用寿命，因此需要更精确、实时地反映产品可靠性，就需要高水平的高速精密元器件分析仪，全面、精准地对电子元器件的 C_p 、 C_s （ESR 电阻）、 D （损耗因数）、 Q （品质因数）、 G 、 R_p 、 R_s （ESR 电阻）等决定电子元器件性能、品质、损耗等重要参数进行测量，及时发现电子元器件缺陷，提升电子产品、系统的质量水平。为了满足更多客户这种高测试性能的需求，迫切需要研发全新的宽频高精度智能自动元器件分析仪。

虽然国内外已有相关产品，但技术性能相对落后，而开发本项目，将会对我国的仪器行业、下游电子元件等行业带来新的发展机遇。主要表现为以下几个方面：

（1）提高我国电子测量仪器设备研发技术水平：随着电子元器件被使用在许多重要系统（如卫星、通信、电力系统、核电站系统）当中，而器件所必须面对的工作环境也正日益变得十分的恶劣和复杂，精密元器件阻抗分析仪测试范围、测试精度及测试要求也朝多样性发展，特别是对电子元器件的基本参数、特性分析，传统的测试仪器已远远不能满足这种要求，唯有加强技术创新，实现技术进步和跨越。本项目的研发可以使我们掌握高性能测试仪器的核心技术，全力赶超国际先进水平。项目研究成果可广泛用于卫星、信息、军工、移动通讯、电子电器和航天航空等行业的整机制造单位该类电气设备的全面、精准检测。

（2）加快我国电子行业开创自主品牌的进程：高效测试是电子行业控制和降低成本的强有力的手段，生产效率的提高将显著和持续地为企业创造价值。本产品是电子元器件产品测试和分析中必不可少的基本检测设备，项目产品的研发在满足国内电子行业的更高技术要求等方面提供了先进的测试设备支持同时，可以打破国外企业技术垄断和封锁，对提高产业链整体水平，带动国内相关配套产业的共同发展等方面都具有重要意义。

（3）加快我市信息行业的发展：项目的实施可提升我国新型电子元器件、集成电路、磁性材料、介电材料等制造及应用技术水平，特别对提高国内电子产品、系统的稳定性、可靠性有重要意义，对提升我市电子信息产业在我省的地位和强化我市智能制造装备地位、推进我国信息化进程具有积极意义。

主要技术文件目录及来源

- 一、项目工作总结报告-----（常州大学）
- 二、科技查新报告-----（教育部科技查新工作站）
- 三、项目合同书-----（常州同惠电子股份有限公司）
- 四、项目技术研究报告-----（常州大学）
- 五、相关成果-----（常州大学、常州同惠电子股份有限公司）
- 六、用户报告-----（常州同惠电子股份有限公司）
- 七、其他（含相关测试报告、量产情况等）-----（常州同惠电子股份有限公司）

鉴 定 委 员 会 专 家 测 试 报 告

测试频率:

频率	单位	测量值	允许范围
1000	Hz	1000.0	± 0.1
100	kHz	100.00	± 0.01
1000	kHz	1000.0	± 0.1
10	MHz	10.000	± 0.001
130	MHz	129.9968	± 0.013

测试信号电压 (1kHz)

电平	测量值	允许范围
20mVrms	19mV	$\pm 3mV$
0.1Vrms	0.098V	$\pm 0.011V$
0.5Vrms	0.492V	$\pm 0.051V$
1Vrms	0.998V	$\pm 0.101V$

内部偏置电压:

电压 (V)	测量值 (V)	允许范围 (V)
2	2.005	± 0.015
5	4.999	± 0.030
10	9.985	± 0.055
40	39.886	± 0.205
-40	-39.865	± 0.205

测试参数: (电压: 0.5V, 量程: 自动, 速度: 5)

频率: 100kHz

电阻	标称值	测量值	允许范围 (V)
1 Ω	1.0047	1.0054	± 0.005
10 Ω	9.997	9.998	± 0.010
100 Ω	99.97	99.97	± 0.080
1k Ω	0.9998	0.9998	± 0.005
10k Ω	9.998	9.998	± 0.010
100k Ω	99.97	99.97	± 0.080

频率: 1MHz

电阻	标称值	测量值	允许范围 (V)
10 Ω	10.003	10.002	± 0.010
100 Ω	99.98	99.97	± 0.080
1k Ω	0.9998	0.9996	± 0.005
10k Ω	9.995	9.998	± 0.010
100k Ω	98.96	99.09	± 0.080

频率: 10MHz

电阻	标称值	测量值	允许范围 (V)
10 Ω	10.042	10.087	± 0.10
100 Ω	100.16	99.77	± 1
1k Ω	1.0014	0.9980	± 0.010

电容测试:

0.1MHz 电容测试

电容	标称值	测量值	允许范围 (V)
1nF	1.0004	1.0002	± 0.0008
D	0.0001	0.0000	± 0.0008
10nF	10.002	10.002	± 0.008
D	0.0002	0.0000	± 0.0008
100nF	100.38	100.34	± 0.08
D	0.0006	0.0000	± 0.0008

1MHz 电容测试

电容	标称值	测量值	允许范围 (V)
1pF	0.9999	0.9984	± 0.0100
D	0.0001	0.0043	± 0.0100
10pF	9.9989	9.9910	± 0.0500
D	0.0000	0.0009	± 0.0050
100pF	99.978	99.915	± 0.0800
D	0.0000	0.0004	± 0.00080
1000pF	1000.7	1000.4	± 0.80
D	0.0000	0.0004	± 0.00080

10MHz 电容测试

电容	标称值	测量值	允许范围 (V)
1pF	0.9885	0.9981	± 0.1000
D	0.0000	0.0047	± 0.1000
10pF	9.9776	10.0205	± 0.1000
D	0.0000	0.0047	± 0.0100
100pF	100.076	100.476	± 1.000
D	0.0000	0.0051	± 0.0100
1000pF	1025.1	1028.4	± 10.00
D	0.0000	0.0019	± 0.0100

注: 校准结果不确定度的描述:

频率: $U=0.001\%(k=2)$ 电压: $U=0.5\%(k=2)$ 电阻: $U=1\%(k=2)$ 电容: $U=1\%(k=2)$ D: $0.0030(k=2)$

测试组长: 靳晓芳 签字

成员 贺晓霞、(子强)、徐大成
2022 年 04 月 15 日

鉴 定 意 见

2022年4月16日,中国仪器仪表学会以视频会议方式主持召开了常州同惠电子股份有限公司、常州大学完成的“10Hz~130MHz 宽范围精密阻抗分析仪的研发”科技成果鉴定会。鉴定委员会(名单见附件)听取了完成单位的研制报告、查新报告和校准报告,审查了相关技术资料,经质询和讨论,形成鉴定意见如下:

1. 提交的鉴定资料完整、规范,符合鉴定要求。
2. 研发出一种宽范围精密阻抗分析仪,最高测量频率 130 MHz,最高测试速度 2.5ms/次,最高准确度 0.08%,主要创新点如下:
 - (1) 提出一种数字化宽带高速自动平衡阻抗测量技术架构。
 - (2) 提出一种全数字锁相倍频及低谐波混频技术方案,研发一种基于数字 PID 平衡算法的精密矢量误差检测技术及数字化矢量鉴相技术,显著降低了高次谐波对测试结果的影响,提高了检零环路的平衡速度、鉴相灵敏度和稳定性。
 - (3) 提出一种宽范围、高分辨率、低失真且与时钟、本振同步的信号源方法,实现频率在 10Hz~130MHz 内连续可变。
3. 项目产品已经中国计量科学研院校准,并经国内多家用户应用验证,取得了显著的经济效益和社会效益。

鉴定委员会一致认为:该成果核心技术完全自主可控,具有创新性,总体技术水平达到国际先进,其中测试频率范围、阻抗测试范围及测试速度指标处于国际领先,同意通过鉴定。

鉴定委员会主任:

邵海明

副主任

王

2022 年 04 月 16 日

主 持 鉴 定 单 位 意 见

同意鉴定委员会鉴定意见

主管领导签字: (盖章)

2022 年 04 月 16 日

组 织 鉴 定 单 位 意 见

同意鉴定委员会对“10Hz~130MHz 宽范围精密阻抗分析仪的研发”项目成果鉴定意见

主管领导签字: (盖章)

2022 年 04 月 16 日

科技成果完成单位情况

序号	完成单位名称	邮政编码	所在省市代码	详细地址	隶属省部	单位/属性
1	常州同惠电子股份有限公司	213022		江苏省常州市新北区天山路3号	江苏	企业
2	常州大学	213164		江苏省常州市武进区福湖路1号	江苏	大专院校
3						
4						
5						
6						
7						
8						

- 注：1、完成单位序号超过8个可加附页，其顺序必须与鉴定证书封面上的顺序完全一致；
2、完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致，并填入完成单位名称的第一栏中，其下属机构名称则填入第二栏中；
3、所在省市代码由组织鉴定单位按省、自治区、直辖市和国务院各部门及其他机构代码填写；
4、详细通讯地址要写明省(自治区、直辖市)、市(地区)、县(区)、街道和门牌号码；
5、隶属省部是指本单位的行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管，并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写；
6、单位属性是指本单位在 1.独立科研机构 2.大专院校 3.工矿企业 4.集体或个体企业 5.其他 五类性质中属于哪一类，并在栏中填写 1. 2. 3. 4. 5. 即可。

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度 (学位)	工作单位	对成果创造性 贡献
1	赵浩华	男	1965.6	正高级工程师	硕士	常州同惠电子股份有限公司	总体方案
2	刘瑜	男	1980.6	高级工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	项目负责
3	储开斌	男	1975.6	教授	硕士	常州大学	硬件设计
4	高志齐	男	1970.10	高级工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	软件设计
5	朱晨阳	男	1990.4	讲师	博士	常州大学	软件设计
6	黄霖霖	男	1989.11	工程师	硕士	常州同惠电子股份有限公司	软件设计
7	孙伯乐	男	1965.11	高级工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	硬件设计
8	朱正伟	男	1963.10	教授	博士	常州大学	系统仿真
9	许海平	男	1975.8	工程师	大专	常州同惠电子股份有限公司	结构设计
10	陈绪聪	男	1991.9	工程师	硕士	常州同惠电子股份有限公司	阻抗算法、软件设计
11	刘亚国	男	1978.5	高级工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	软件设计
12	赵昕喆	男	1991.10	工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	性能测试
13	武胜强	男	1993.8	工程师	学士	常州同惠电子股份有限公司	硬件设计
14	陈树越	男	1963.1	教授	博士	常州大学	系统设计
15	郭俊俊	男	1995.6	实验师	硕士	常州大学	性能测试

注：主要研制人员超过 15 人可加附页

鉴定委员会名单

序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	所学专业	现从事专业	职称职务	签名
1	主任	邵海明	中国计量科学研究院电磁剂量科学研究所	电磁计量	电磁计量	研究员/所长	邵海明
2	副主任	刘献成	哈尔滨电工仪表研究所有限公司	仪器仪表	仪器仪表	教授级高工/主任	刘献成
3	委员	刘祖深	中电科思仪科技股份有限公司	电子测量技术与仪器	电子测量技术与仪器	研究员/首席科学家	刘祖深
4	委员	行鸿彦	南京信息工程大学	电子信息	电子信息	教授/副院长	行鸿彦
5	委员	贺晓雷	国家气象计量站	仪器仪表	仪器仪表	研究员/站长	贺晓雷
6	委员	吕文华	中国气象局	仪器仪表	仪器仪表	研究员/首席科学家	吕文华
7	委员	徐立忠	河海大学	仪器仪表	仪器仪表	教授	徐立忠
8	委员	徐大诚	苏州大学	微纳传感器	微纳传感器	教授	徐大诚
9	委员	高硕	北京航空航天大学	电子信息	电子信息	副教授	高硕