

材料电压—电流动态特性测试解决方案

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技
度纬科技 Application Notes-058-V1.0
<https://www.doewe.com>

一、引言

在新能源电池、功率半导体、柔性电子等前沿应用场景中，材料常被置于快速脉冲、电压尖峰或大电流冲击的复杂工况下，其导电路径、发热行为乃至失效机理都会随瞬态电气条件而剧烈变化。如果只依赖稳态直流或低频测试，很容易低估材料在真实工作环境中的风险和性能极限。通过系统地研究电压-电流动态特性，研发人员能够捕捉材料在微秒到秒级时域内的响应曲线，进而量化其导电性衰减和热稳定性等相关特性，为配方迭代、结构优化和可靠性评估提供精准依据。

本方案旨在为材料提供电压-电流动态特性测试解决方案。通过激励源对材料施加特定波形的电压或电流激励，使用数据采集系统采集经过材料后的电压、电流等信号变化，以此分析材料的动态特性。通过对电压和电流信号的精准采集，可以实时监测材料在不同电气条件下的反应，帮助用户深入了解材料在实际工作状态下的性能表现。这一过程对于评估材料的导电性、热稳定性和抗压能力等特性至关重要，为材料的优化与设计提供科学数据支持。测试系统整体结构图如下：

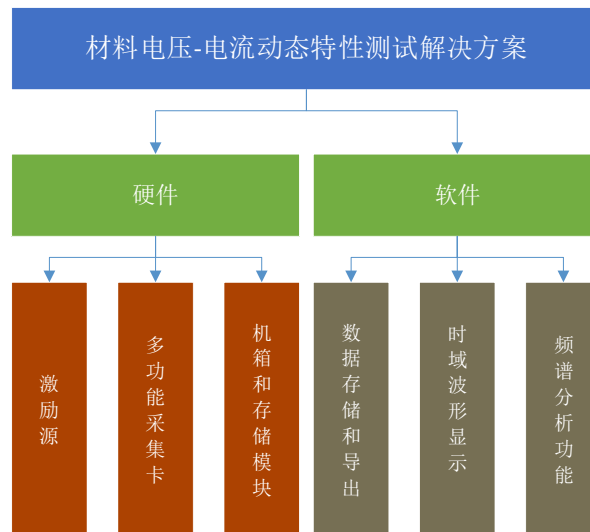


图 1 测试系统整体结构图

二、具体测试方案

2.1 测试系统原理

系统由硬件和软件两部分组成。硬件部分包括激励源、数据采集系统。激励源提供可编程波形输出，波形类型、信号频率、幅值及直流偏置均可按客户需求自由编辑。数据采集系统通过电压采集模块并联在被测材料两端，实时采集材料上的电压信号，同时通过电流采集模块串联在回路中，监测电流变化。通过数据采集与分析系统，用户可获取精确的电压、电流数据，并可进行实时时域波形查看和频谱分析。数据通过高速存储方式保存，确保数据完整与安全。软件部分提供一体化的数据采集与分析平台，支持对采集的电压和电流信号进行实时查看、存储和导出。内置的时域波形显示和频谱分析功能，帮助用户即时识别信号中的异常或频谱特性。此外，系统可按需导出测试结果，便于后续离线分析或报告制作。

通过硬件与软件的协同，本系统可对材料的电压-电流动态特性进行同步测量与分析。测试时，任意波形发生器首先将设定的激励信号（频率、幅值、偏置均可编程）注入被测材料输入端；电压采集通道以并联方式接在材料两端，实时记录其端电压变化；电流测量通道则在回路中串联电流采集模块（或精密分流电阻），同步捕获流经材料的电流。所有通道数据经 PXIe 机框汇总并由 ASMC 软件统一时序，对应的时域波形和频谱分析可即时显示并高速存储。这样，用户即可获得材料在不同电气激励下的完整电压-电流响应曲线，准确评估其导电特性、动态阻抗及能耗表现，为材料优化与设计提供可靠依据。测试流程图如下：



图 2 测试流程图

2.2 数据采集与测试分析软件 ASMC 介绍

数据采集与测试分析软件 ASMC 具备多项强大功能，能够为材料的电压-电流动态特性测试提供全方位的支持。软件支持电压和电流的高精度采集，能够连续测量被测材料两端电压及回路电流，并确保全通道同步，保证数据的准确性与一致性。软件还提供实时波形显示功能，能够在采集过程中即时呈现时域波形，帮助测试人员随时观察材料的响应情况，提升测试的实时性和操作便捷性。

此外，ASMC 软件具备数据自动保存功能，能够将采样数据实时写入本地高速存储，确保长时间测试过程中数据的完整性，避免漏帧现象的发生。在试验结束后，软件支持将数据导出为多种常用文件格式（如 CSV、XLSX 等），简化离线分析与报告制作过程。

软件界面提供灵活的参数调整功能，允许用户实时设定各通道的采样率与量程，并支持信号采集类型的动态更改，以满足不同测试需求。同时，ASMC 软件内置频谱分析与功率计算模块，利用 FFT 和功率算法对采集信号进行频域分析，并输出平均功率、峰值等统计结果，为后续的深度数据分析和决策提供有力支持。

通过这些功能，ASMC 软件能够全面满足材料电气性能测试中的各种需求，确保测试过程中的数据采集、分析及报告制作的高效性与准确性。软件示意图如下：



图 3 数据采集与测试分析软件示意图

2.3 测试系统核心参数

本测试系统具备多项关键参数，确保其在各种测试场景中高效、精准地运行。系统提供 8 路可配置输入通道，支持电压、IEPE、电流、应变桥、RTD 等信号类型，能够灵活应对不同的测量需求。信号类型包括电压 ($\pm 2 \text{ mV} \sim \pm 100 \text{ V}$)、IEPE ($\pm 100 \text{ mV} \sim \pm 10 \text{ V}$)、电桥 ($\pm 1 \text{ mV} \sim \pm 1000 \text{ mV}$)、电阻 ($10 \Omega \sim 30 \text{ k}\Omega$)、电流 ($\pm 30 \text{ mA}$)、MSI 计数/热电偶/LVDT 等。系统的最大采样率为每通道 $0 \text{ S/s} \sim 5 \text{ MS/s}$ ，确保对高频率信号的采集。采样分辨率在 $0 \sim 2 \text{ MS/s}$ 范围内为 24 位，而在大于 $2 \sim 5 \text{ MS/s}$ 时为 18 位，以适应不同精度要求。

系统的模拟带宽为 2 MHz，能够满足常见测试信号频段的需求，并且提供了通道与机箱之间的隔离等级为 $\pm 350 \text{ V DC}$ ，保证了在复杂环境下的稳定性。额定输入耐压（对地）为 $33 \text{ V RMS} / 46.7 \text{ V PEAK} / 70 \text{ V DC}$ ，具备较强的抗干扰能力。参考校准端口采用 SMB 接口（LEMO 版本专用），方便进行系统的校准与参考。系统还配备了 512 MB 的板载数据缓冲，确保数据存储的高效性和连续性。

为了实现数据同步或外部总线采集，系统提供了一个高速 CAN 2.0 接口。用户可选配 AOUT-8 版本，提供隔离的模拟输出，支持 $\pm 5 \text{ V}$ 、 $\pm 10 \text{ V}$ 或 $\pm 30 \text{ mA}$ 的输出范围，以满足不同的测试需求。输入接插件方面，系统提供 8 通道 0B-LEMO 接口（或 4 通道 D-SUB/BNC，视版本而定），确保多样化的接入方式。工作环境方面，系统的工作温度范围为 $0 \text{ }^\circ\text{C} \sim +45 \text{ }^\circ\text{C}$ ，存储温度为 $-20 \text{ }^\circ\text{C} \sim +70 \text{ }^\circ\text{C}$ ，并且支持 $10 \% \sim 80 \%$ （非冷凝）的工作湿度，以及 $5 \% \sim 95 \%$ 的存储湿度，适应多种环境条件。

在可靠性方面，系统的 MTBF（平均故障间隔时间）为 2M 采样率版为 196,187 小时，5M 采样率版为 93,843 小时，体现了其高稳定性。功耗方面，系统在不同模式下的典型功耗为：电压模式 $\leq 15 \text{ W}$ ；IEPE 模式 $15 \text{ W} / 19 \text{ W}$ ；桥式模式 $18 \text{ W} / 21 \text{ W}$ 。该测试系统为 PXIe 3U 单槽模块，占用空间小，适合紧凑的测试环境。

这些核心参数确保了系统在高精度和高效率的测试过程中能够稳定运行，满足多种测试需求，提供可靠的数据采集与分析支持。

三、方案优势特点

- 同步电压 / 电流测量：**单张 PXIe 采集卡提供 8 路可配置电压或电流通道。
- 高精度 / 采样模式随时切换：**采样率在 $0\text{--}2 \text{ MS/s}$ 时维持 24 bit 分辨率，提升至 $2\text{--}5 \text{ MS/s}$ 时自动切换为 16 bit，既保证稳态测试的高精度，又满足瞬态冲击测量的高速需求。
- 多量程输入一体化：**同一模块即可混采 $\pm 2 \text{ mV} \sim \pm 100 \text{ V}$ 电压、 $\pm 30 \text{ mA}$ 电流、IEPE、桥式应变、RTD 等多种信号，省去切换采集模块的时间。

4. **2MHz 带宽 + 通道隔离**: 高模拟带宽配合全通道 / 通道-机箱隔离, 有效抑制共模噪声, 保障高频与大共模场景下的数据完整性。
5. **任意波形激励与自由编辑**: 激励波的类型、频率、幅值、直流偏置均可脚本设定; 波形确定后可一键发出, 缩短用例准备与重复迭代时间。
6. **硬件时钟级同步**: 采集模块共用 PXIe 时基, 毫秒级对齐电压并联和电流串联通道, 为功率计算和频谱分析提供高精度时间基准。
7. **高速数据存储保障**: 采集数据实时写入机框内高速存储卡, 满足长时高频测试, 确保原始波形完整留存。
8. **一键数据导出与报告生成**: 采集完成后, ASMC 软件可将电压、电流原始数据及频谱分析结果一键导出为常用文件格式, 并自动生成测试报告, 便于后续归档与共享。

四、硬件核心产品介绍

4.1 多功能采集卡

ASMC-PXIe-4054 多功能采集卡专为电压-电流动态特性测试而设计, 单槽 3U PXIe 形态集成 8 路可编程输入, 可按需切换为高精度电压 ($\pm 2\text{ mV} \sim \pm 100\text{ V}$)、电流 ($\pm 30\text{ mA}$)、IEPE、桥式应变或 RTD 热电阻测量, 同卡即可同步接入热电偶与 LVDT 等辅助信号。每通道采样率最高 5 MS/s, 其中 0-2 MS/s 保持 24 bit 分辨率, 2-5 MS/s 为 18 bit, 配合 2 MHz 模拟带宽和 512 MB 板载缓冲, 可无丢帧记录瞬态冲击与稳态漂移。通道-通道及通道-机箱隔离等级达 $\pm 350\text{ V DC}$, 额定耐压 33 V RMS, 确保在高共模噪声场景下依旧获得干净波形。板上预留 1 个高速 CAN 2.0 口用于同步采集外部总线数据; AOUT-8 版本还提供隔离 $\pm 5\text{ V} / \pm 10\text{ V}$ 或 $\pm 30\text{ mA}$ 模拟输出, 方便闭环控制或校准。卡片工作温度 $0^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$, 存储温度 $-20^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$, 典型功耗 $\leq 15\text{ W}$ (电压模式), 是 PXIe 机框中实现多物理量同步采样、功耗计算与频谱分析的核心组件。采集卡核心参下:

1. **输入通道**: 4-8 路 (可配置为: 电压、IEPE、电流、桥式应变、RTD 等)
2. **信号量程**: 电压 $\pm 2\text{ mV} \sim \pm 100\text{ V}$; 电流 $\pm 30\text{ mA}$; 电阻 $10\ \Omega \sim 30\text{ k}\Omega$
3. **最大采样率**: 5 MS/s (每通道)
4. **分辨率**: $0 \sim 2\text{ MS/s}$ 时 24 bit; $> 2 \sim 5\text{ MS/s}$ 时 18 bit
5. **模拟带宽**: 2 MHz
6. **隔离等级**: 通道-通道 / 通道-机箱 $\pm 350\text{ V DC}$
7. **板载缓冲**: 512 MB
8. **高速接口**: PXIe 3U 单槽, 集成 $1 \times \text{CAN 2.0}$ 同步端口
9. **输出选件**: AOUT-8 版本提供隔离 $\pm 5\text{ V} / \pm 10\text{ V} / \pm 30\text{ mA}$ 模拟输出

10. 工作温度范围: 0 °C ~ +45 °C; 存储 -20 °C ~ +70 °C



图 4 度纬 PXIe 采集卡产品图

4.2 任意波形发生器

激励源选用 SDG7052A 任意波形发生器, 双通道差分/单端输出, 模拟带宽 500 MHz, 14-bit DAC。仪器可在 0.01 Sa/s–2.5 G Sa/s 采样率范围内生成逐点任意波, 单通道波形深度至 512 Mpts, 支持段式编辑与无缝播放。最小 1ns 脉宽、500 ps 上/下降沿脉冲输出, 内置 AM / FM / PM / FSK / ASK 等多种模拟与数字调制、扫频和脉冲串功能, 并可产生 PRBS、Gaussian Noise 及 16-bit 高速数字总线信号。单通道最大 24 Vpp 幅值叠加 ± 12 V 直流偏置, 满足宽幅激励需求; 通道间可耦合、跟踪或互为调制源, 便于构造复杂双通道波形。前面板 5" 触控屏配合 USB/LAN/外触发接口, 实现本地与远程 (SCPI) 双模式控制, 是材料电压-电流特性测试中灵活可编程的高性能激励核心。任意波形发生器核心参数如下:

1. **输出通道:** 双通道差分 / 单端输出, 14-bit 垂直分辨率
2. **模拟输出带宽:** 500 MHz (SDG7052A 型号规格)
3. **数-模采样率:** 5 GS/s; 任意波采样率 0.01 Sa/s – 2.5 GS/s, 波形深度至 512 Mpt/通道
4. **最大输出幅度:** 24 Vpp, 可叠加 ± 12 V DC 偏置, 满足宽幅激励需求
5. **最小脉冲性能:** 1 ns 脉宽、500 ps 上/下降沿, 适合高速瞬态测试
6. **内置调制与扫频:** 支持 AM / FM / PM / FSK / ASK 等模拟、数字调制及扫频、脉冲串功能

7. **数字/总线输出 (选件)** : 16-bit LVTTTL / LVDS, 速率最高 1 Gbps
8. **接口配置**: USB Host ×3、USB Device、LAN(VXI-11/Telnet/Socket)、外触发 / 参考时钟 In/Out 等
9. **人机交互**: 5 英寸 800 × 480 触摸屏, 支持 WebServer 远程控制与 SCPI 自动化
10. **环境与尺寸**: 工作 0 °C – 50 °C; 整机 338 mm × 113 mm × 369 mm



图 5 任意波形发生器产品图

如果您对本方案感兴趣, 欢迎致电度纬科技交流, 联系电话 010-64327909。