

# 基于 LabVIEW 的 4284A-LCR 测量系统开发

李沼岐 王道发 陈爱平 顾大伟

(南京工业大学数理科学学院, 江苏 南京 211800)

**摘要:** 利用 LabVIEW 开发安捷伦 4284A-LCR 测量仪的多功能测量系统。采用 Keithley-GPIB488 转接线实现计算机 USB 端口与 4284A-LCR 测量仪 GPIB 端口的物理连接; LabVIEW 中的 VISA 通讯函数配合 4284A-LCR 的指令集开发测量系统的各功能模块, 实现计算机程序控制 4284A-LCR 测量仪。在集成 4284A-LCR 测量仪前面板测量功能的基础上, 测量系统增加了快速设定频率范围、介电频谱测量、实时图形化显示数据以及测量数据存储等功能。结合加热装置和 3146A 万用表测温功能, 该系统还能够实现介电温谱的测量。

**关键词:** LabVIEW; 介电频谱; 介电温谱; LCR 测量系统

**中图分类号:** TP274+.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-2605(2021)05-0006-05

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.05.006

## 0 引言

LCR 测量仪 (也称 LCR 表) 是一种常规电学测量仪器, 能够测量器件或材料的电感、电容、电阻、阻抗等参数<sup>[1]</sup>。国内外不同公司推出了各种档次的 LCR 测量仪。4284A-LCR 测量仪是安捷伦公司的一款中端 LCR 表, 在国内高校和科研院所应用广泛。早期 4284A-LCR 测量仪的开发主要利用 BASIC 语言, 与目前流行的虚拟仪器开发工具差距较大。

LabVIEW 是一款基于 G 语言的虚拟仪器软件开发工具<sup>[2]</sup>, 是目前应用较广的虚拟仪器软件平台之一。LabVIEW 平台程序编写过程便捷, 控件选择丰富多样, 程序框图清晰直观, 广泛应用于仪器控制、数据采集、数据显示等领域<sup>[3-5]</sup>。

本文设计基于 LabVIEW 的 4284A-LCR 测量系统, 并在计算机端完整移植 4284A-LCR 的测量功能, 增加了自动扫频测量和介电温谱测量等功能。该测量系统可图形化实时显示测量数据, 且存储测量数据方便快捷。

## 1 计算机与 4284A-LCR 通讯连接

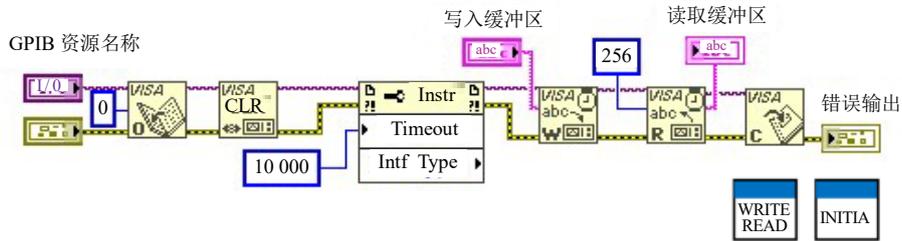
4284A-LCR 测量仪提供通用接口总线 (general

purpose interface bus, GPIB) 接口, 能够运行可编程仪器的标准命令, 计算机通过 GPIB 控制卡与其相连, 使测量工作快捷、简便、精确、高效<sup>[6]</sup>。本测量系统利用 Keithley-GPIB488 转接线将计算机 USB 端口与 4284A-LCR 的 GPIB 接口相连接, 在计算机端运行程序即可实现仪器程序控制和数据传输。

### 1.1 VISA 协议程序

本文利用 LabVIEW 中标准的输入/输出应用程序编程接口虚拟仪器软件结构 (virtual instrument software architecture, VISA) 控制仪器。VISA 是对其他总线驱动函数统一封装的一个高层应用程序接口 (application programming interface, API)<sup>[7]</sup>。LabVIEW 内置多个 VISA 函数方便开发者调用, 实现不同功能。

本文基于 LabVIEW 开发的 4284A-LCR 读写子虚拟仪器 (virtual instrument, VI) 程序框图如图 1 所示。该子 VI 主要由 5 个 VISA 函数构成: VISA 打开函数、VISA 设备清零函数、VISA 写入函数、VISA 读取函数和 VISA 关闭函数<sup>[8]</sup>。本文测量系统的各功能模块都是利用该子 VI 进一步开发得到的。



1 基于 LabVIEW 开发的 4284A-LCR 读写子 VI 程序框图

## 1.2 指令语法

根据安捷伦公司提供的指令语法及测试功能，本文编写 4284A-LCR 测量系统程序所需的各功能模块子 VI，如图 2 所示。通过程序向 4284A-LCR 发送指令，可方便对测量系统的功能、量程、运行速度、电平、偏置电压及频率范围等参数进行设定。

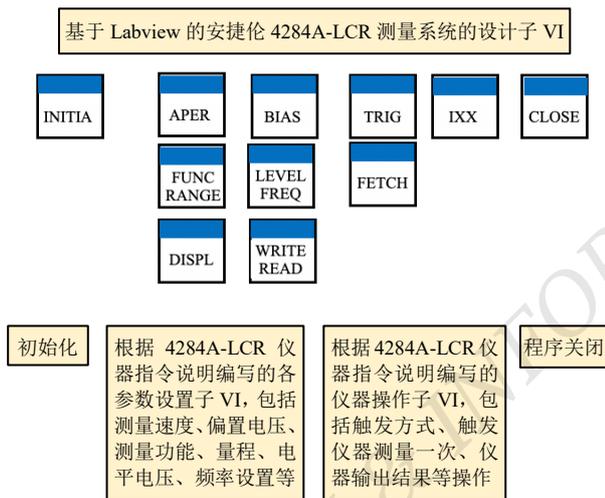


图 2 4284A-LCR 不同功能模块子 VI

## 2 4284A-LCR 测量系统

基于 LabVIEW 平台开发的测量系统不仅集成了 4284A-LCR 前面板各按键的功能，还增加扫频、介电频谱测量和介电温谱测量功能。此外，该系统还能够图形化实时显示测量数据，并改善 4284A-LCR 的数据保存功能。4284A-LCR 测量系统可分为生成测量指令模块、图形化实时显示模块及测量数据存储模块 3 个功能模块。

### 2.1 生成测量指令并写入仪器

基于 LabVIEW 的 4284A-LCR 测量系统生成测

量指令模块的后面板程序框图如图 3 所示。程序运行时将相关指令以字符串的形式发送给各功能模块子 VI，从而使 4284A-LCR 测量仪按照对应的指令进行测量。

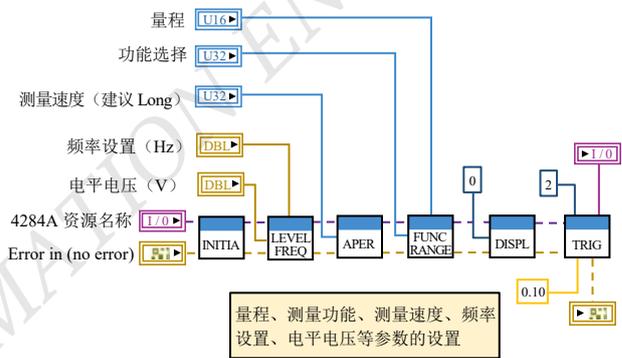


图 3 生成测量指令模块的后面板程序框图

### 2.2 介电频谱测量与实时图形化显示

在交变电场作用下，由于电介质电容率与电场频率有关，电介质有弛豫现象。在研究元器件的频率特性时，通常使用 LCR 测量仪的扫频测量功能。本测量系统扫频测量功能程序框图如图 4 所示，该功能通过定时结构循环实现。根据设定的初始频率、最终频率和步长，可计算测量循环总次数及单次测量循环所对应的频率。利用移位寄存器将测量的频率和电参数分别生成一维数组，传递给 X-Y 波形图控件，即可在系统界面图形化实时显示测量的介电频谱数据。

### 2.3 介电温谱测量

在研究介电材料电参量的过程中，周围环境温度变化直接影响材料的介电性能。为丰富 4284A-LCR 测量仪的测量功能，本文通过增加控温加热装置和测温

模块，设计一套介电温谱的测量系统。该系统能够在测量过程中有效反映被测对象各电参数与温度之间的变化关系。介电温谱测量系统的结构图如图 5 所示。

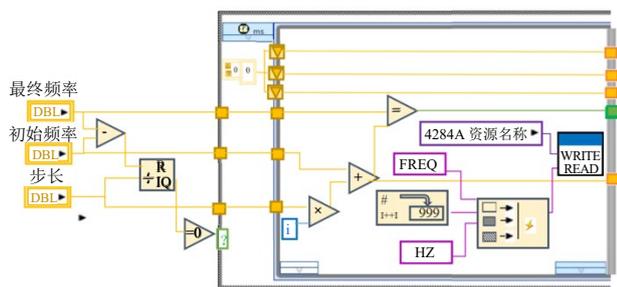


图 4 测量系统扫频测量功能程序框图



图 5 介电温谱测量系统结构图

介电温谱测量系统选用 3146A 多功能数字万用表实现测温功能<sup>[9]</sup>。在系统操作界面可设置 3146A 的测量参数，如图 6 所示。采用 3146A 的四线法电阻测量功能实时测量样品旁 PT1000 温度传感器的电阻，在程序中利用 LabVIEW 自带的 Convert RTD Reading VI 将电阻值转换成实时温度值。

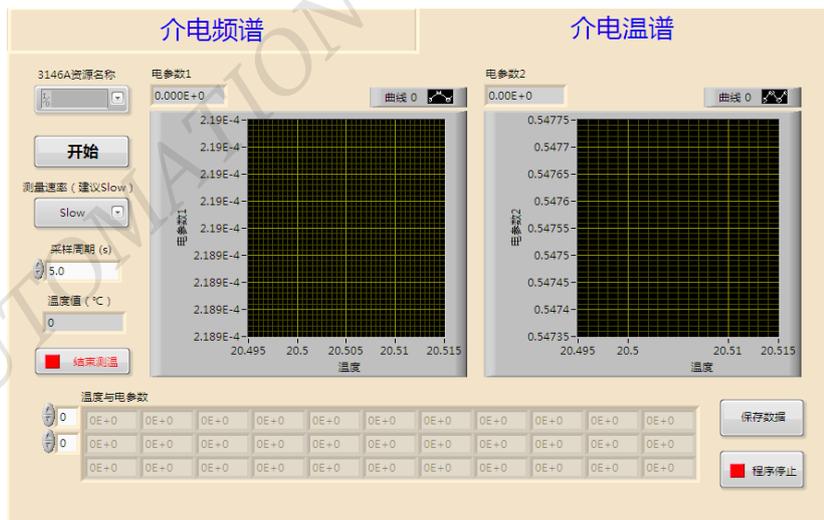


图 6 介电温谱测量系统界面

同理，利用移位寄存器配合定时结构循环，可分别得到温度和电参数 2 个一维数组；再利用 X-Y 波形图控件，实时显示测量的介电温谱数据。

## 2.4 数据保存

在介电频谱和介电温谱测量过程中会产生大量的测量数据。而 4284A-LCR 测量仪原有的数据保存功能无法满足现在的测量需要。在数据存储方面，LabVIEW 提供丰富的控件和子 VI 选择<sup>[10]</sup>。利用 LabVIEW 基础软件包内的“写入测量文件”子 VI 可将测量数据进行保存。测量数据保存程序框图如图 7 所示，测量系统将测量结束后的数据以数组的形式传递给“写入测量文件”子 VI，利用事件结构决定是否保存当前数据。

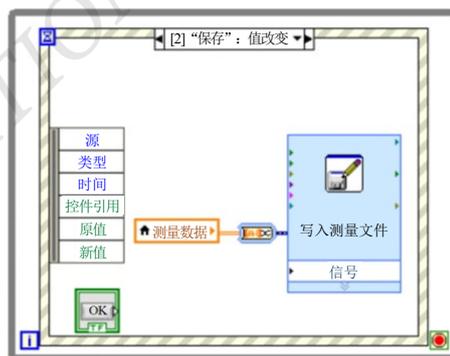


图 7 测量数据保存程序框图

## 3 测量系统验证

### 3.1 介电频谱

为检验基于 LabVIEW 的 4284A-LCR 测量系统的性能，本文测量瓷片电容 (104) 在 20 Hz~20 kHz 范围内的频率特性，如图 8 所示。

其中  $C_p$  表示并联电容， $D$  表示损耗因子， $R_p$  表示泄漏电阻， $G$  表示电导， $B$  表示电纳， $R$  表示等效电阻， $X$  表示电抗， $Z$  表示阻抗， $\theta^\circ$  表示损耗角， $C_s$  表示串联电容， $Q$  表示品质因子。

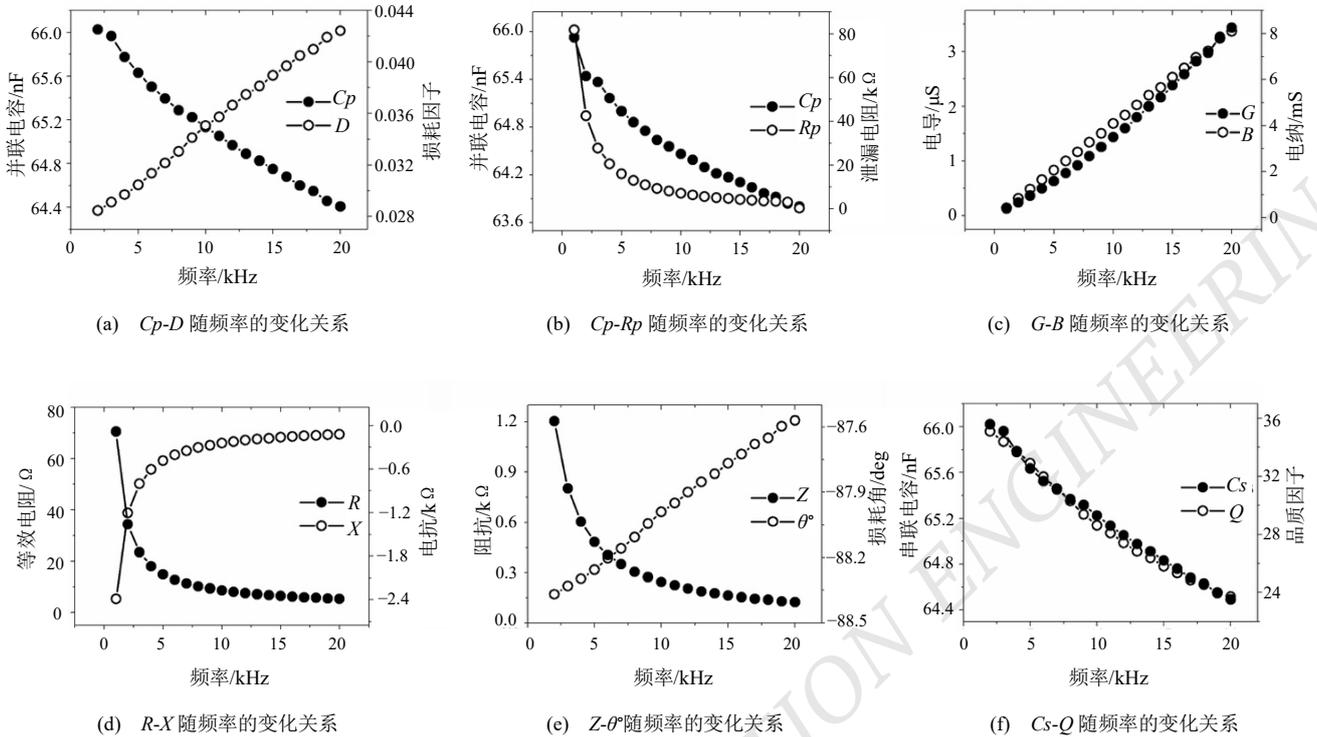


图 8 瓷片电容不同电参数随频率的变化关系

由图 8 可看出，该测量系统得到的瓷片电容频率特性与厂家给出的特征基本相符<sup>[11]</sup>。

### 3.2 介电温谱

本文进一步测量常见电容器电参数随温度的变化情况。在一定温度范围内 104 瓷片电容的电参数随温度的变化关系如图 9 所示。

由图 9 可看出，本文设计的介电温谱测量系统能够较好地完成测量工作。

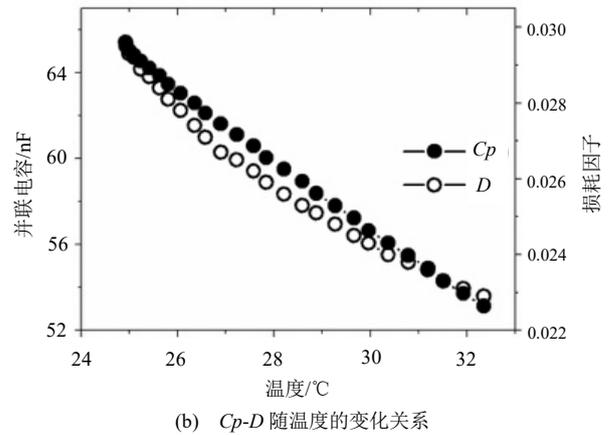
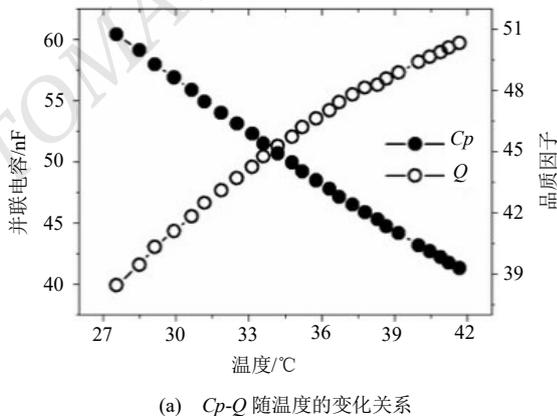


图 9 瓷片电容  $C_p-Q$  和  $C_p-D$  随温度的变化关系

## 4 结论

利用 LabVIEW 软件对仪表进行二次开发，可扩展仪表的测量功能，能够更加灵活地运用现有仪器资源。本文基于 LabVIEW 开发 4284A-LCR 测量系统，通过 Keithley-GPIB488 转接线实现计算机与 4284A-LCR 的通讯连接；在系统界面复现 4284A-LCR 的前



(a)  $C_p-Q$  随温度的变化关系

面板功能; 并增添图形化实时显示测量数据、自动扫频测量、便捷存储测量数据等功能。配合 3146A 万用表的测温功能, 该系统还可实现介电温谱的测量。这种将计算机、软件及仪器相结合的虚拟仪器模式可更充分、高效地发挥普通仪器的测量功能, 为科研人员提供更大助力。

## 参考文献

- [1] 董铁龙,温思歆,余晓铭,等.一种新型 LCR 测试仪系统设计[J].无线互联科技,2016,1(13):72-73.
- [2] 李江全.LabVIEW 虚拟仪器技术及应用[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [3] 王蕾,成凤敏.LabVIEW 仿真软件在电工学教学中的应用[J].中国现代教育装备,2013,11(13):10-12.
- [4] 王瑞.LabVIEW 数据交互及处理技术在测试软件中的应用[D].太原:中北大学,2016.
- [5] KRISMER F, KOLAR J W. Accurate small-signal model for the digital control of an automotive bidirectional dual active bridge[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2009,24(12): 2756-2768.
- [6] 张金,王伯雄,张力新.基于 LabVIEW 的 GPIB 总线独立仪器集成测试平台[J].仪表技术与传感器,2010,47(9):13-15.
- [7] 魏义虎,陈雷.基于 LabVIEW-VISA 方式的串口通信研究[J].电子设计工程,2015,23(24):129-131.
- [8] 吴伟.基于 VISA 的仪器通信技术的研究与实现[D].西安:西安科技大学,2009.
- [9] 张凯宇,范艾杰,蔡志明,等.基于 LabVIEW 的 3146A 多功能测量系统的开发[J].实验室研究与探索,2016,35(1):121-124.
- [10] WANG Z, SHANG Y, LIU J, et al. A LabVIEW based automatic test system for sieving chips[J]. Measurement, 2013,46(1):402-410.
- [11] 王道发,李沼岐,陈爱平,等.基于 LabVIEW 的 TH2827C 数字电桥多功能测量系统开发[J].自动化应用,2021(1):8-11.

## Development of 4284A-LCR Measurement System Based on LabVIEW

Li Zhaoqi Wang Daofa Chen Aiping Gu Dawei

(Department of Physics, School of Mathematical Sciences, Nanjing Tech. University,  
Nanjing 211800, China)

**Abstract:** A multifunctional measurement program for the Agilent 4284A-LCR instrument was developed based on LabVIEW. The computer and the 4284A-LCR instrument was connected by a Keithley-GPIB488 adapter cable. The VISA communication functions of LabVIEW and the program commands of 4284A were used to develop the functional modules of the measurement program. In this way, the 4284A-LCR instrument is controlled by a computer program. All keys functions on the 4284A-LCR front panel were ported into this program. Further, functions such as frequency range fast setting, dielectric spectrum measurement, real-time graphical display data and measurement data storage were integrated in this program. Combining a heating device with 3146A multimeter, the system was also capable of measuring dielectric temperature spectra.

**Key words:** LabVIEW; frequency-dependent electrical parameters spectra; temperature dielectric spectrum; measuring system of LCR

### 作者简介:

李沼岐, 男, 1999 年生, 本科在读, 主要研究方向: 虚拟仪器技术及单片机技术应用。

顾大伟(通信作者), 男, 1978 年生, 工学博士, 副教授, 主要研究方向: 虚拟仪器技术及光电功能材料。E-mail: dwgu@njtech.edu.cn