

利用 LABVIEW 研究混沌现象

实验人：刘文捷 07300190051

合作者：汪宝华 07300190054

指导老师：乐永康 俞熹

摘要：利用 LABVIEW 语言，在计算机上模拟示波器，以该手段对非线性电路所产生的各种混沌现象进行记录和研究，从而取代示波器，以便于数据、图像的记录和分析。最终我们观察到了各种混沌相图， $I \sim V$ 曲线， $I \sim U$ 相图。

利用 LABVIEW 语言模拟混沌现象，观察模拟所得相图，与实际相图进行比较。

关键词：计算机实测技术 LABVIEW 语言 非线性电路混沌现象

引言：

虚拟仪器（Virtual Instrument，简称 VI）秉承着“硬件功能软件化”的基本理念，自上世纪八十年代问世以来，引导了一场传统仪器领域的重大变革。如今随着现代实验技术的发展和前沿理论研究的深入，对实验仪器的性能、可扩展性以及集成度的要求也越来越高，这使得虚拟仪器的开发受到了前所未有的关注。

LabVIEW是实验室虚拟仪器集成环境（Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench）的简称，是美国国家仪器公司（NATIONAL INSTRUMENTS，简称NI）的创新软件产品，也是目前应用最广、发展最快、功能最强的图形化软件集成开发环境。目前它广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受，视为一个标准的数据采集和仪器控制软件。

非线性是在自然界广泛存在的自然规律，相对于我们熟悉的线性要复杂得多。要直观地演示混沌现象，采用非线性电路是一个非常好的选择。

本实验第一部分利用蔡氏电路，来产生并演示研究各种混沌现象，放弃使用示波器，转而利用LABVIEW语言所编写的程序模拟示波器，来对所得混沌现象的相图、 $I \sim V$ 曲线等实验现象进行成像记录，以方便对数据的采集和更为精确的观察分析。

第二部分利用LABVIEW语言编写程序，模拟混沌信号，进行观察和测量，并与使用蔡氏电路混沌实验箱所得的结果进行比较。

实验原理：

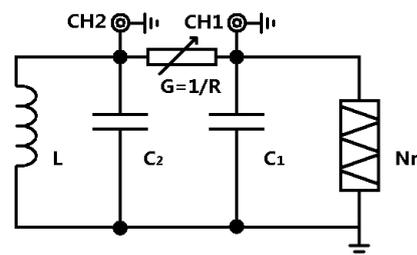


图 1：蔡氏电路示意图

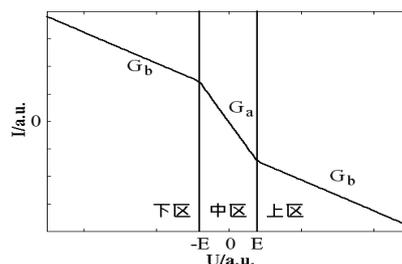
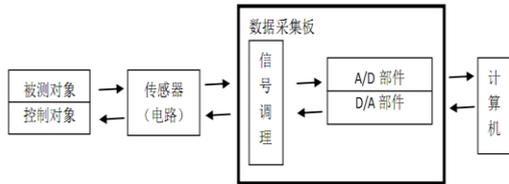


图 2：理想非线性负阻 I-V 特性（示意图）

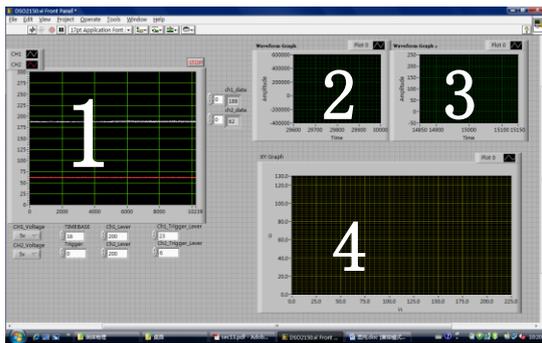
蔡氏电路，是我们实验的最基本的电路，是我们实验观察、记录和分析的对象。通过对其不同组件电压和电流的测算，以及调节 G ，可以观察到各种混沌现象。

虚拟仪器的流程和构造：



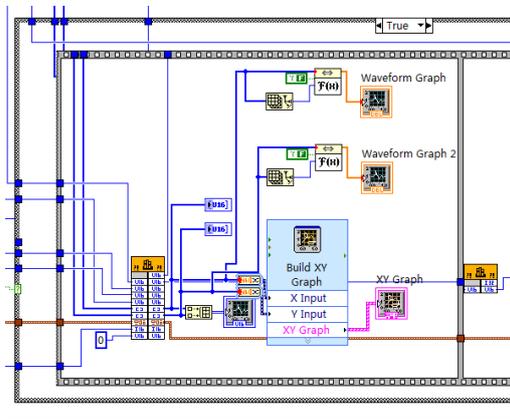
其中，在最终数字信号输入计算机后，便是利用LABVIEW语言所编写的程序模拟示波器，来实现实验的观测。

编写程序得到的模拟示波器面板：



- 1——示波器的显示面板，显示 CH1&CH2 输入的信号
- 2, 3——频率分析显示屏
- 4——CH1&CH2 信号的各种相图，以及 I~V 曲线的观察屏。为 X-Y 模式。

程序线路示意图（部分）：



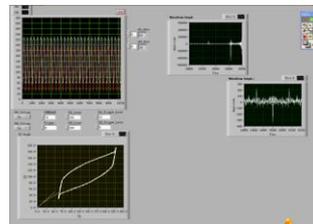
我们根据原有程序进行了一些改动：

1. 增加了 XY Graph 窗口，用以直接观察 X-Y 模式下的相图。
2. 添加了 Waveform Graph 两个窗口，用以观察 CH1&CH2 的信号频率，以便进行频率分析。

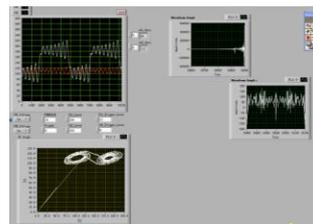
实验仪器：

蔡氏电路实验箱 DSO-2150 USB卡
计算机 数据线 导线若干 电阻箱等

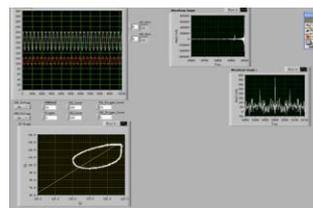
实验结果：



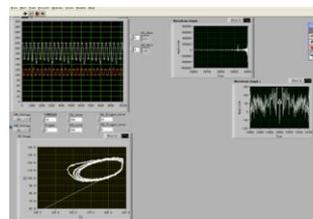
混沌初始态：



双吸引子：



单周期：

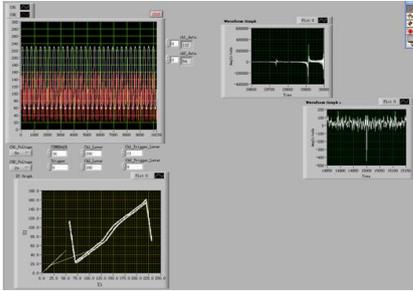


四周期：

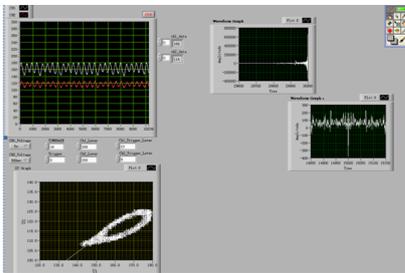
从实验结果来看，我们观测到的图像，和以传统方法（使用示波器）所得图像具有相同的特点。随着 G 的调整，图像的变化过程相同都能呈现特征鲜明的几个典型混沌图样。模拟示波器的分辨率与准确度是值得信

赖的，是完全可以取代普通双踪示波器的。

非线性负阻 $I \sim V$ 曲线：



蔡氏电路 $I \sim U$ 相图：



同样，所得的 $I \sim V$ 曲线也能清晰地体现出非线性负阻 I 与 V 的关系。并且有随着 $1/G$ 的增大而改变的变化趋势。分岔现象也能较清晰的体现出来。

我们还通过对电路的拆卸和重组，进行了通过电感 L 的电流 I 与非线性负阻两端电压 U 的关系观测，得到上面的 $I \sim U$ 相图。

实验总结与讨论：

1. 从以上结果看，模拟示波器实现了如下功能：

- 1) 屏幕1展示输入计算机的 $CH1$ & $CH2$ 的原始信号，能完成双踪示波器对输入信号的读取采集与成像。
- 2) 屏幕 2, 3 展示通过 FFT 变换后完成的对 $CH1$ & $CH2$ 信号的频率组成分析，得以使实验者清晰直观看到两信号的频率分布与组成。
- 3) 屏幕4展示了 $X-Y$ 模式下， $CH1$ & $CH2$ 的信号组成的相图。完成

了 $X-Y$ 模式下示波器的成像。

可以看到，传统的双踪示波器的主要功能我们都可以通过模拟示波器来完成。对比从前使用双踪示波器所得的图像，模拟示波器在功能上以及成像的准确性上，都相当不错，完全可以达到实验要求，取代传统双踪示波器。

2. 本实验的创意来源于混沌实验的改进。这学期我们选了非线性电路这一实验。当时我们在实验时，发现用实验室提供的示波器记录实验图像有一个比较大的缺点，即只能记录某一瞬间的图样，得不到连续完整的图样，我们只能用相机自行记录。并且，由于没有计算机的帮助，对实验数据的读取以及图像的分析，也没有较为简便准确的方法。当时我们就在设想在该实验中如何引进计算机。后来我们选做实验选取了 **LABVIEW** 语言，考虑到可以利用该语言模拟示波器的想法，由此可利用虚拟的示波器来使用计算机对非线性实验进行记录。最终，我们在已有的示波器程序的基础上进行改动，添加了更多的组件，完成了这一实验。

3. 模拟示波器面板中编号2, 3的显示屏显示的是 $CH1$ & $CH2$ 的信号频率，即可以认为是将时域的信号做了一个傅里叶变换，得到频域的信号，完成了对信号的频率分析。可以通过这两个屏幕观测到我们接收到的信号的频率组成，即在各个不同频率上的信号占总信号的比例。

4. **LABVIEW**语言模拟示波器与真实双踪示波器相比具有如下优点：

- 1) 可以得到完整的混沌图像，即截图的图像即为实验者所看到的图像。克服了示波器自己只能存储某一瞬间的图像，所得图像不完整的缺点。可以更为直观的看到混沌现象。
- 2) 由于在计算机上进行实时实验和记录，计算机所读取测试到的图像信息可以直接进行数据的处理和分

析，大大方便了数据的处理，提高了实验的精确度。同时，也避免了使用数字示波器还需将测得数据导入计算机的麻烦。

- 3) 节省实验成本。传统研究非线性电路的实验,至少要用到两台示波器,一个蔡氏电路实验箱。本实验,可以借助计算机程序的帮助,通过虚拟仪器来完成实验。这无疑可以在实验成本上大大降低。
- 4) 方便高效。利用LABVIEW语言编写程序,只要一台计算机即可。模拟示波器或者模拟蔡氏电路实验箱产生混沌现象,也无需复杂的连线,这都使实验在操作上更为方便。同时,还可避免实验装置接触不良或者导线晃动、仪器震动带来的各种实验误差。同时,由于摆脱了实验仪器的限制,使实验在个人计算机上也能展开,无需局限在实验室里进行实验。
- 5) 利用计算机模拟实验仪器这本身就是一个让人耳目一新的思路,是传统实验方法的改良和创新。

5. 本实验中,我们有一个设想未能实现:将 U_1 (负阻 Nr 两端的电压), U_2 (L 两端的电压), I_L (通过 L 的电流)同时输入计算机,以模拟示波器对三项同时成像,来实现相图的直观观察。同时,由于三项的同时输入,可以完成 U_1 、 U_2 、 I_L 构成一个三维的状态空间,即相空间,相空间的状态点记为

$\mathbf{X} = [U_1 \ U_2 \ I_L]^T$ 。由此,可以试图

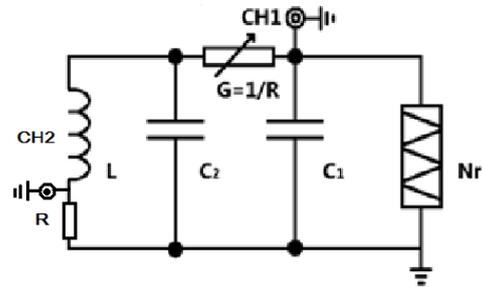
解如下描述蔡氏电路的方程组,

$$\begin{cases} C_1 \frac{dU_1}{dt} = G(U_2 - U_1) - g(U_1) \\ C_2 \frac{dU_2}{dt} = G(U_1 - U_2) + I_L \\ L \frac{dI_L}{dt} = -U_2 \end{cases}$$

由此可以获得蔡氏电路的各种信息。更为重

要的是,解出了这一方程组,便可使用LABVIEW来模拟蔡氏电路,从而获得混沌的信号。但是,这一设想并未实现,原因在于DSO-2150 USB卡只有两个信号输入接口,我们最多只能三选其二,两两分别测量。

6. 我曾设想过使用 A/D 卡来实现第三信号的输入,但是问题在于 A/D 卡的采样频率太低 (10kHz),远低于所需输入信号的频率 (1MHz),即超过了A/D卡的量程。在网上,搜索到具有三项信号接口的输入卡,报价¥14,000元。个人认为还是值得一买的,毕竟今后实验室可以利用 LABVIEW 语言来实现各种实验扩展,应用范围还是很大的。由于上述原因,我们分别测了 (I_L, U_1) (I_L, U_2)关系,分别做了上面的非线性负阻 $I \sim V$, $I \sim U$ 相图。下图便是测 (I_L, U_1) 电路示意图,依靠这一电路,我得到了上面实验结果中的蔡氏电路 $I_L \sim U_{Nr}$ 相图。



对原线路进行拆卸,在电感 L 一端串联一电阻 R ,以 $CH2$ 测电阻两端电压,从而得到 I_L ,以 $CH1$ 来记录 U_1 。

7. 通过解描述蔡氏电路的方程组,即可获得相关的相图。但是,这里我们遇到一个问题,即方程组中非线性负阻的 $I-V$ 特性函数

$$g(U) = G_b U + \frac{G_b - G_a}{2} (|U - E| - |U + E|)$$

太过复杂,程序编写不方便。通过资料的搜集,找到了一组形式较为简单,便于利用LABVIEW语言编写求解的混沌电路——洛伦兹混沌电路及其方程组:

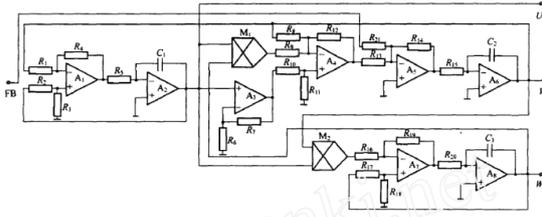


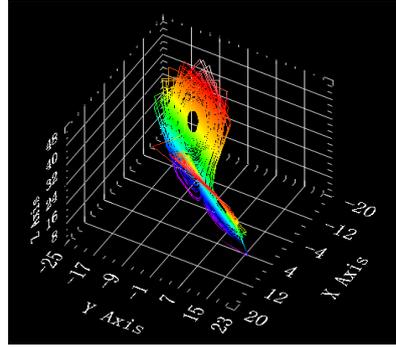
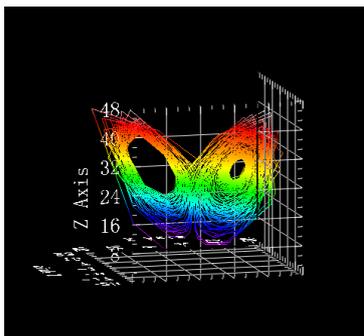
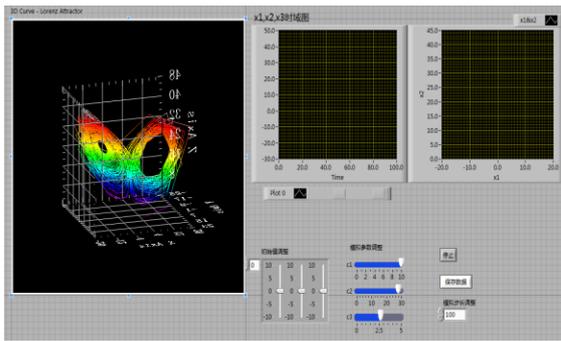
图1 混沌振荡子的仿真电路

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = \rho x - y - xz \\ \dot{z} = xy - \beta z \end{cases}$$

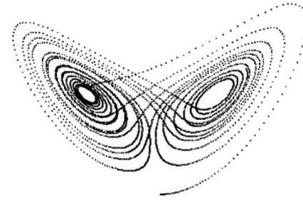
为了实现洛伦兹系统的混沌振荡，需要对方程组做一简单变换，令 $u = x/10, v = y/10, w = z/20$ ，电路工作时，端子 U, V, W 的电压均为时间混沌振荡，得到如下形式较为简洁的方程组：

$$\begin{cases} \dot{u} = \sigma(v - u) \\ \dot{v} = \rho u - v - 20uv \\ \dot{w} = 5uv - \beta w \end{cases}$$

通过对这一电路的研究求解，以其解构成相空间，我们得到了如下的模拟混沌图样：



可以看到，混沌图样较为清晰，呈现为双吸引子，颜色表征双吸引子的不同区域不同的特性。通过调节初始值以及 $C1, C2, C3$ 的取值，我们可以使出混沌图样实现不同特点。



洛伦兹混沌的典型图样——蝴蝶形状

致谢：

感谢我的合作者汪宝华的合作以及物理系教学实验中心 俞熹 乐永康 老师在实验室管理上给予的帮助。

参考文献及资料：

1. 物理系实验中心网页-近代物理实验 I-Labview 计算机实测与控制。
http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:labview_sensor
2. USB-1208FS user's guide, Measurement Computing Corporation
3. 北京迪阳公司，《U18数据采集卡硬件使用说明书》
4. 北京迪阳公司，《U18数据采集卡软件使用说明书》
5. 北京迪阳公司，《Labview入门讲义》
6. 北京迪阳公司，《Labview虚拟仪器教学实验系统实验指导书DYS18II》
7. 吕金虎，《混沌时间序列分析及其应用》
武汉大学出版社