非线性物理的实验研究

罗页

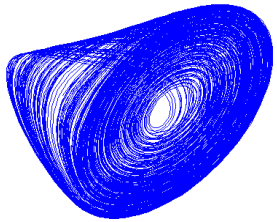
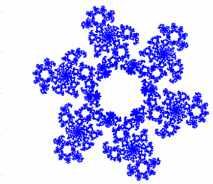
复旦大学物理系

December 22, 2008

指导老师：乐永康

非线性物理

- 传统的物理学就是为各种现象建立线性模型，并取得了巨大的成功。但随着人类对自然界中各种复杂现象的深入研究，越来越多的非线性现象开始进入人类的视野，所以有了非线性物理。
- 非线性物理包括那些方面?

目前有六个主要研究领域，即：混沌  、分形  、模式形成、孤立子、元胞自动机，和复杂系统。

- 什么是混沌?
混沌现象指的是一种确定的但不可预测的运动状态。它的不可预测性是来源于运动的不稳定性。或者说混沌系统对无限小的初值变动和微绕也具于敏感性，无论多小的扰动在长时间以后，也会使系统彻底偏离原来的演化方向。

这学期的主要工作

三个模块:

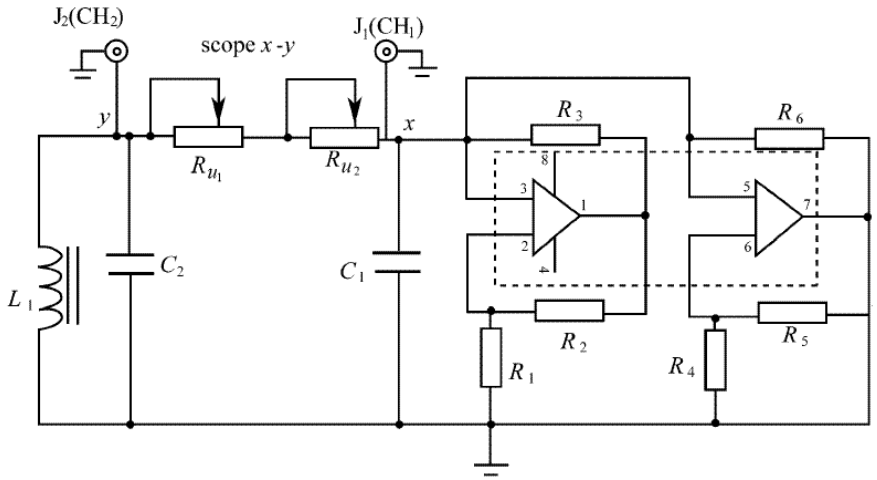
- 动手实验(非线性混沌实验仪)
- 数值模拟(matlab c++)
- 完善网页(实验中心的wiki页面)

两个半项目:

- 混沌现象的观察
- 非线性系统的同步
- 分形

非线性混沌实验仪

典型的chua氏电路



动力学方程组:

- $C_1 \frac{dU_1}{dt} = G(U_2 - U_1) - gU_1$
- $C_2 \frac{dU_2}{dt} = G(U_1 - U_2) + i_L$
- $L \frac{di_L}{dt} = -U_2$

待测量的参数:

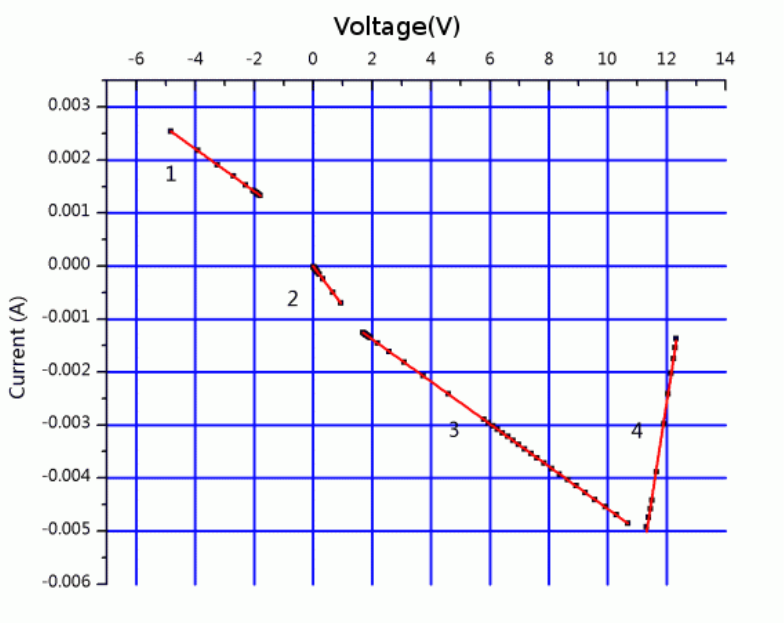
- 电容C1，C2
- 非线性负阻
- 电感L

测量实验仪内建电感与电容

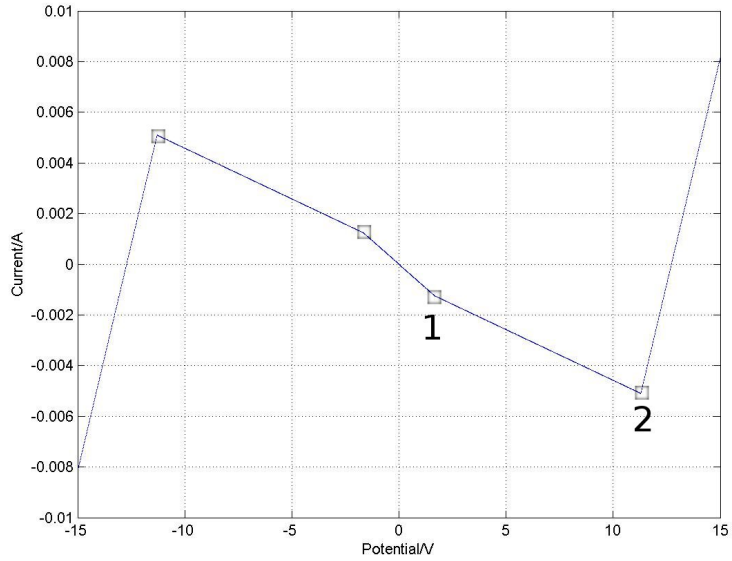
- 混沌信号的频率在2500-2800Hz，所以用2700Hz的正弦信号来测量L1、C1、C2。
- 将电阻箱分别和L1、C1、C2串联。
- 测得:
  $L = 22.1mH$
  $C_1 = 103\mu F$
  $C_1 = 10.3\mu F$

测量实验仪内建非线性负阻

非线性负阻I−V曲线

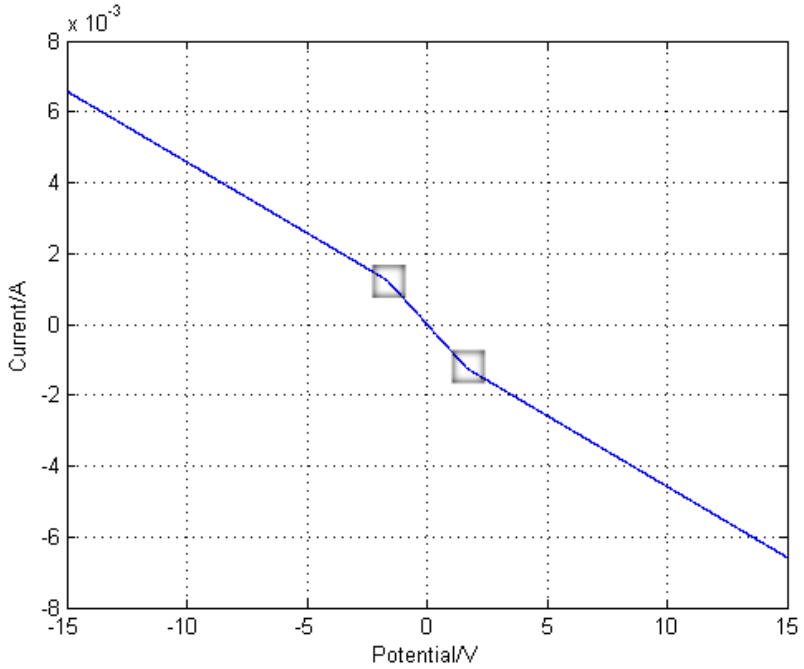


拟合得到数值实验的I−V 曲线

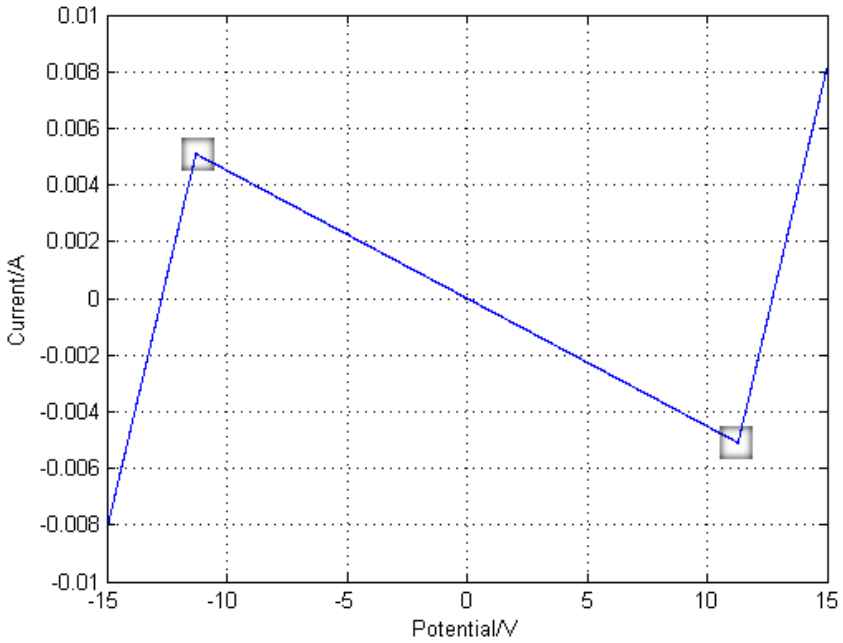


非线性负阻替换实验(数值模拟)

负阻1号(混沌不变)



负阻2号(混沌完全消失)

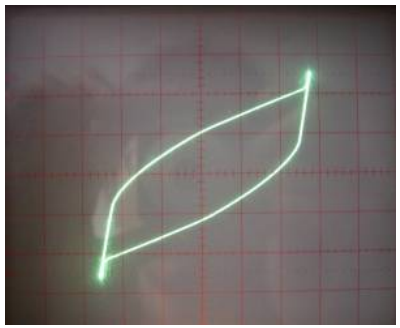
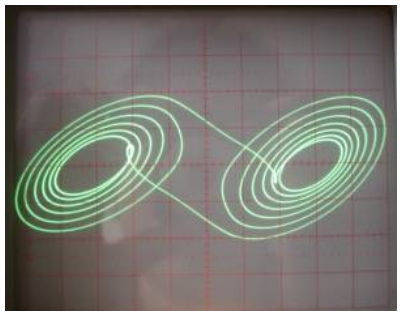
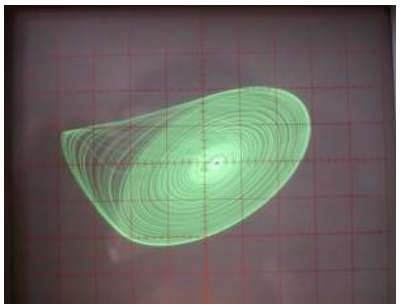
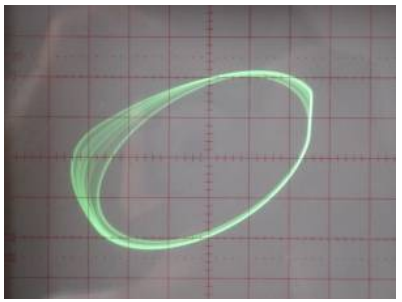
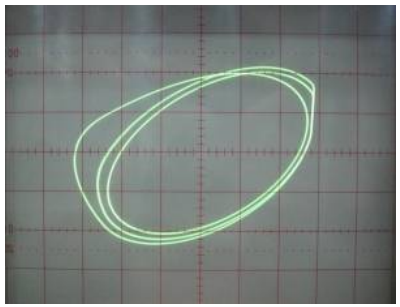
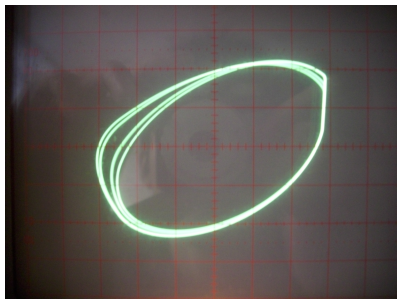
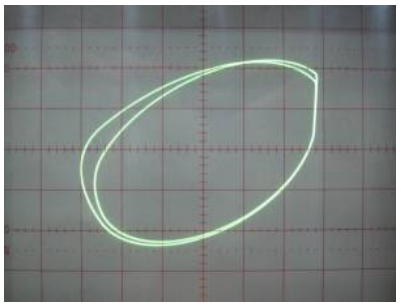
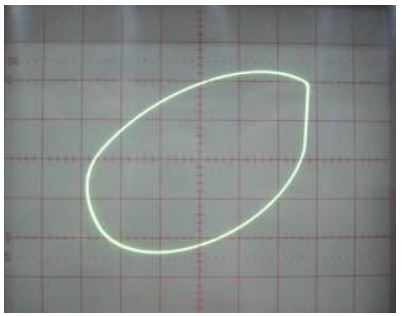


结论

负阻1号中的折点是本实验混沌现象的起源。

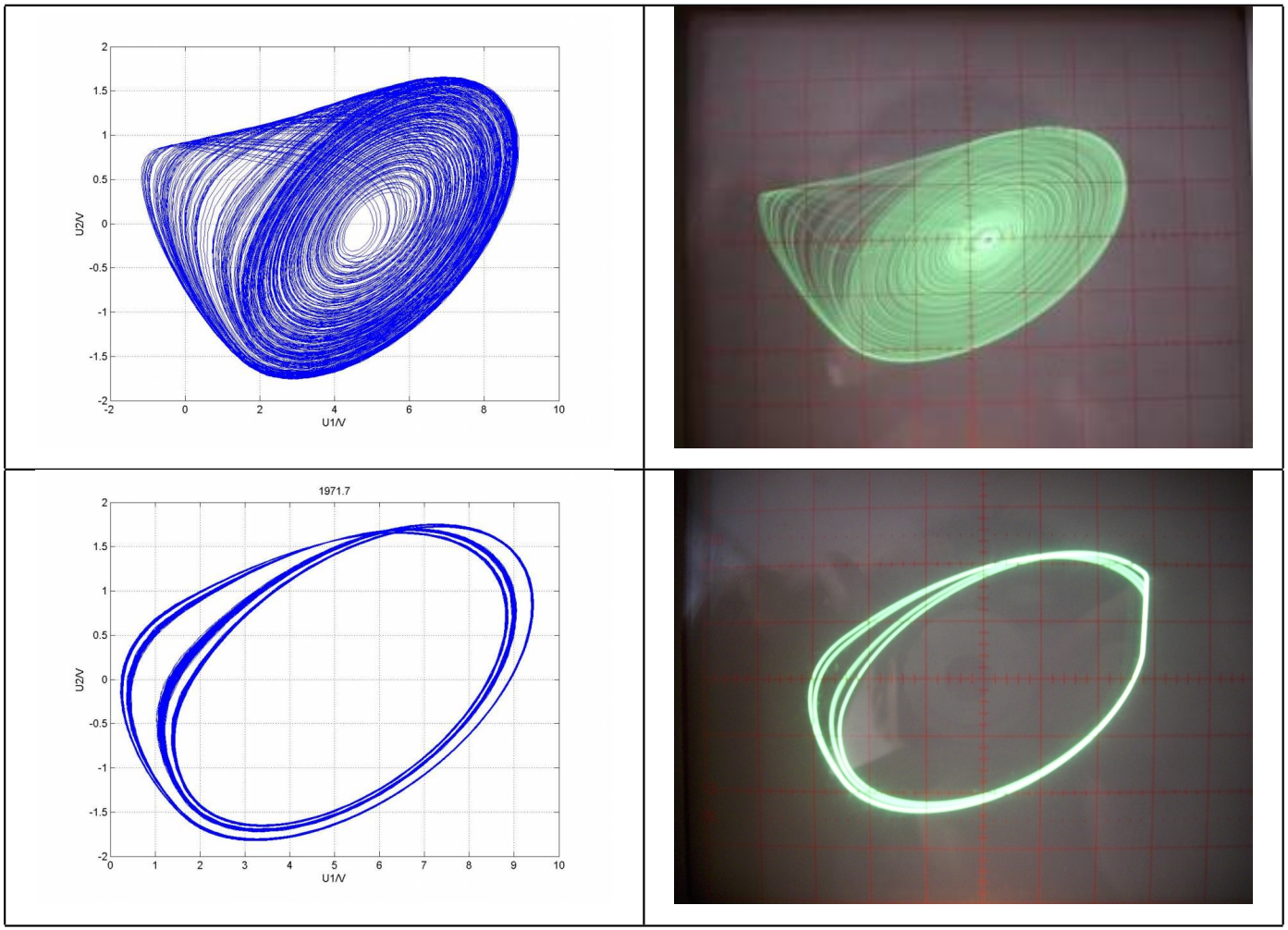
示波器观察$U_2 - U_1$相图

随着可调电阻1/G的逐渐增大，相图如下变化：

初始状态	双吸引子	奇异吸引子	阵发混沌
			
三周期	四周期	二周期	单周期
			

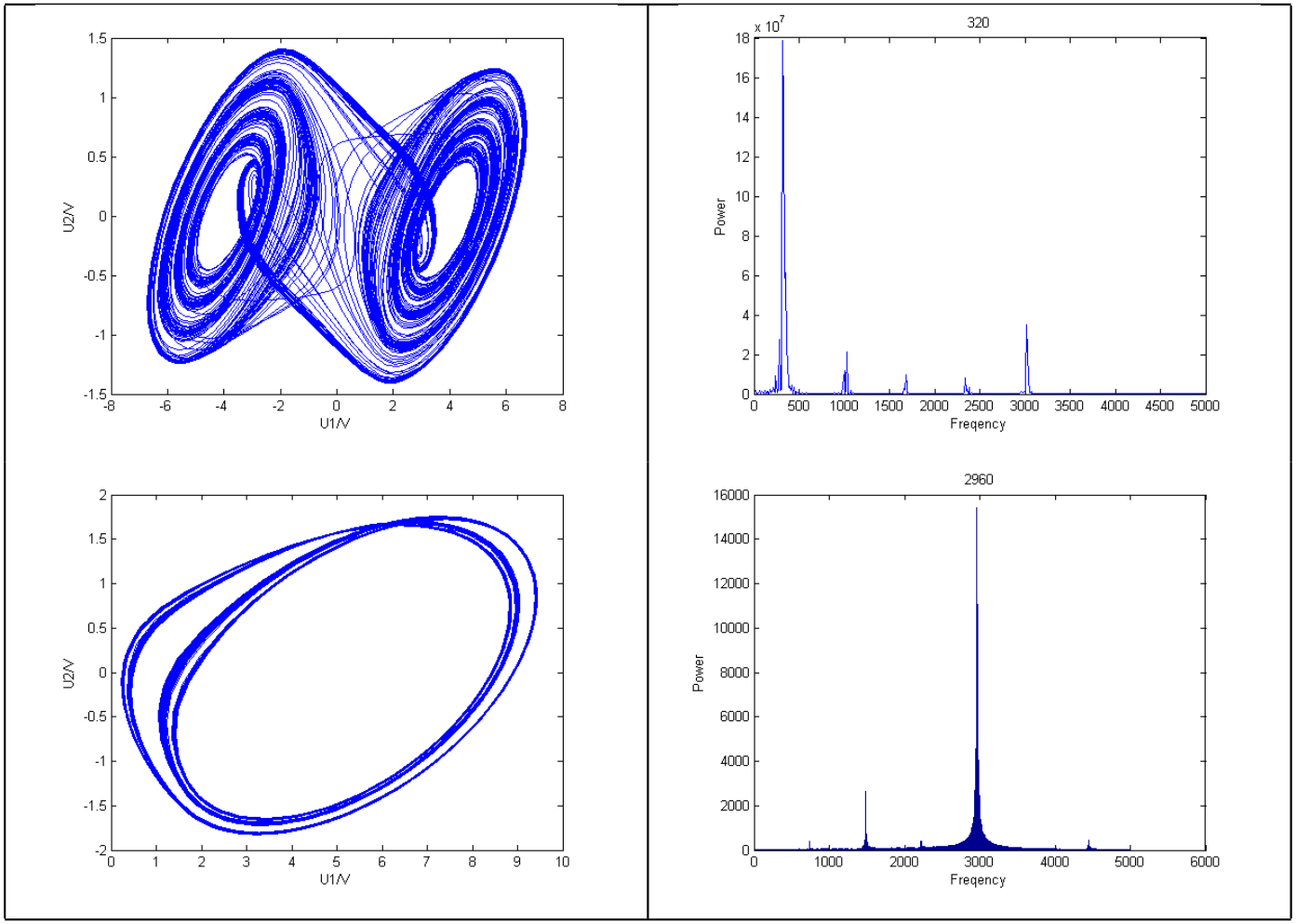
数值模拟的$U_2 - U_1$相图

数值模拟的相图和实际示波器观察的相图吻合得很好：



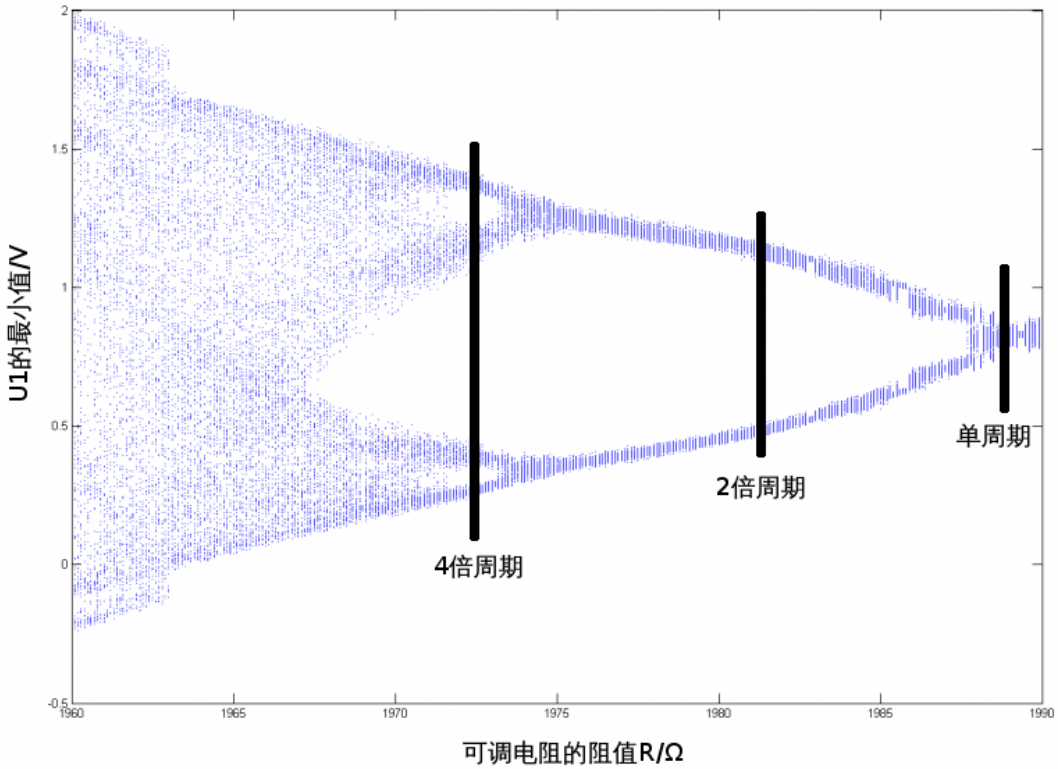
混沌信号频谱分析

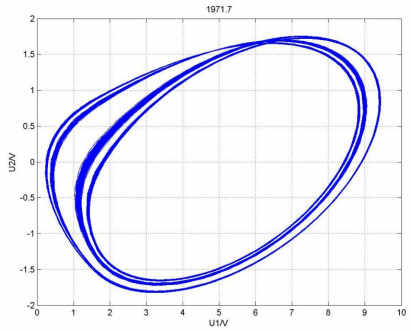
自左而右为相图、时域图和频谱:

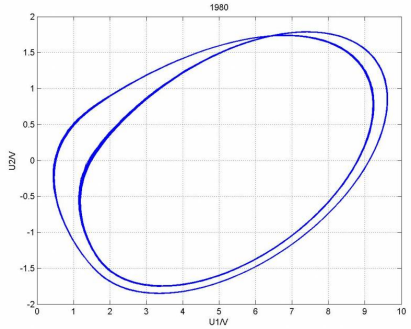


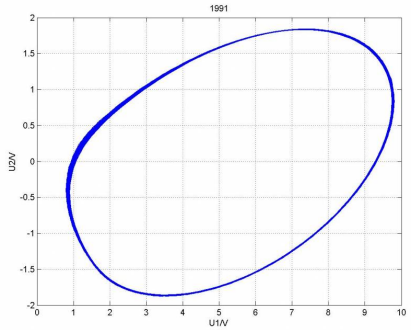
分岔图分析混沌信号

最小值法画出分岔图



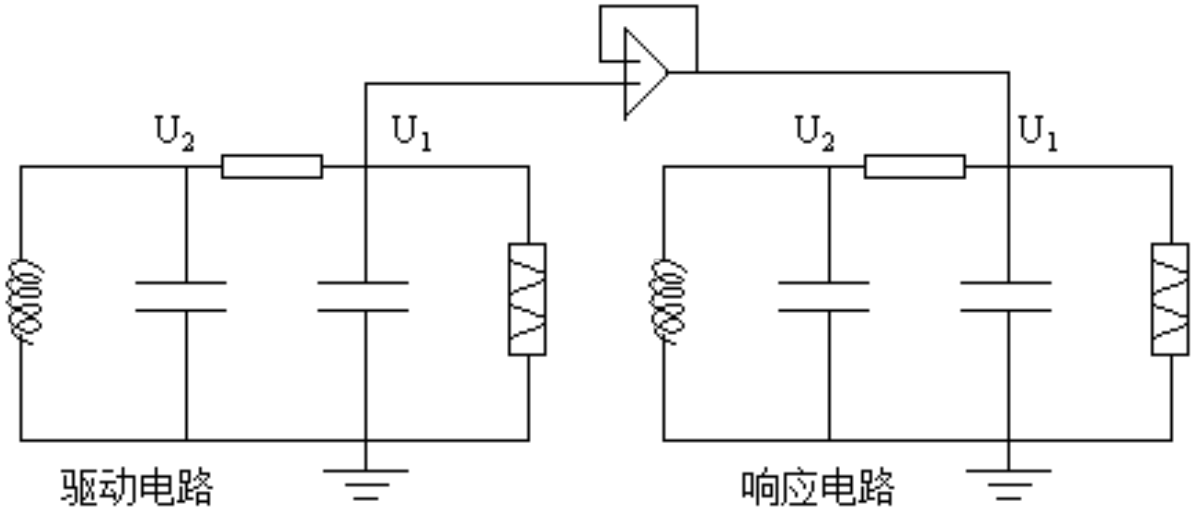






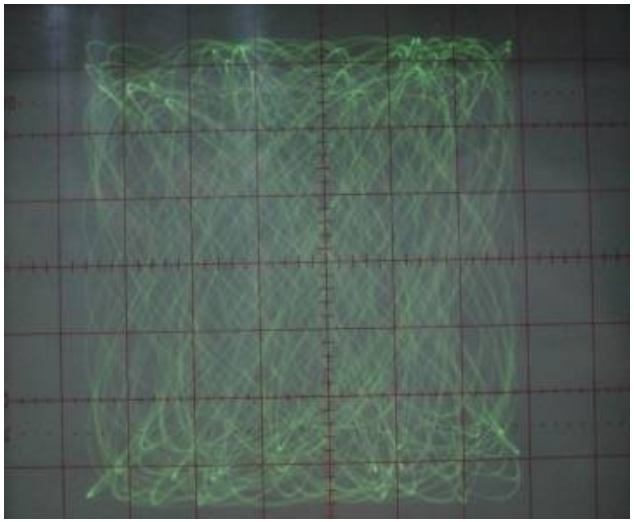
同步的原理

- 为什么要同步?
  非线性系统进行信号传输有诸多有点，但为了保证接受者能还原信号，就需要接受者使用一个和发生源同步的非线性系统来还原信号。
- 使用Pecora-Carroll同步化方法，实现同步。
- 同步电路:

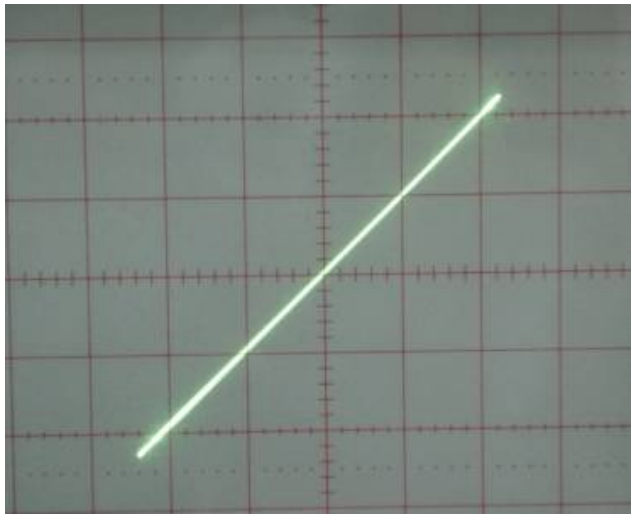


示波器观察“响应－驱动”相图

响应U_2－驱动U_2的相图



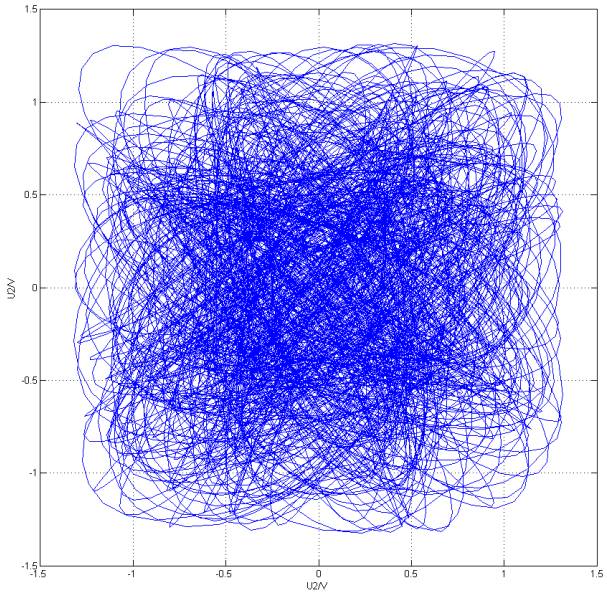
无同步



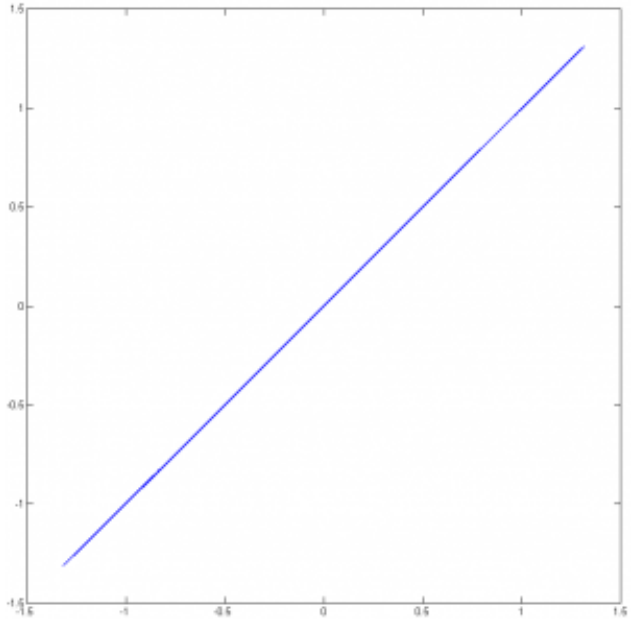
用U1信号同步

数值模拟的“响应－驱动”相图

响应U_2－驱动U_2的相图



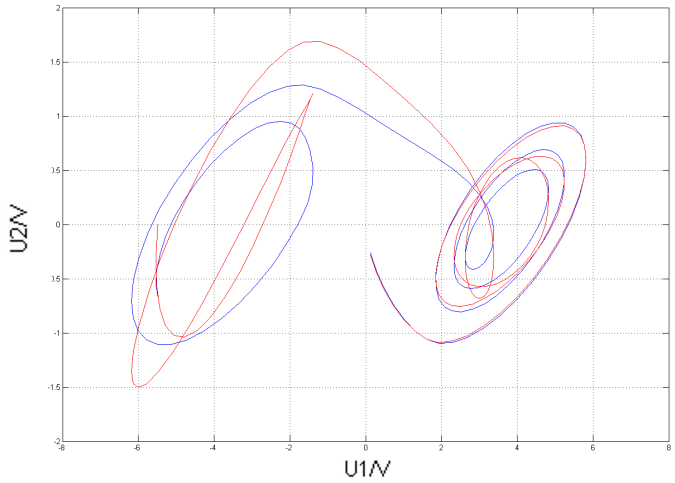
无同步



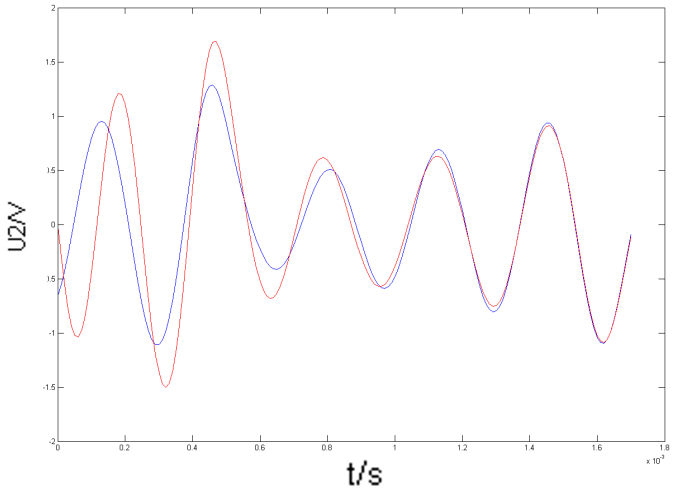
用U1信号同步

同步的瞬态过程

相图



时域图



蓝色表示驱动系统，红色为响应系统。

结论

可以看到，在耗时1ms之后，信号就达到同步了，非常迅速。

可以继续的项目

- 非线性保密通信
  - 编码通信
  - 基于同步的数字信号传输
- 产生分形的实验方法

谢 谢！