

# 非线性物理的实验研究

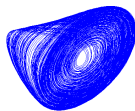
乐永康 罗页

复旦大学物理系

March 3, 2009

# 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。
- 非线性物理包括哪些方面？



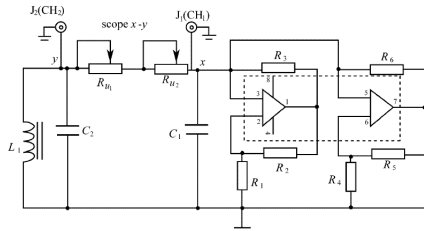
目前有六个主要研究领域，即：混沌模式形成、孤立子、元胞自动机，和复杂系统。

- 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扰也具有敏感性，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。

# 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:

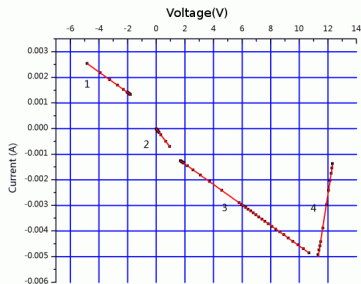
- 电容  $C_1$ ,  $C_2$
- 非线性负阻
- 电感  $L$

# 测量实验仪内建电感与电容

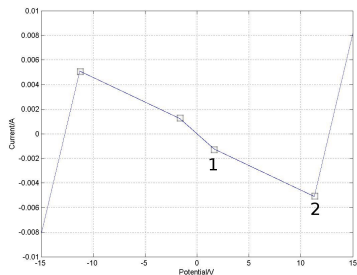
- 混沌信号的频率在2500-2800Hz，所以用2700Hz的正弦信号来测量 $L$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 。
- 将电阻箱分别和 $L$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 串联
- 测得：  
 $L = 22.1mH$ (拓展：测量电感随电流的影响)  
 $C_1 = 103\mu F$   
 $C_2 = 10.3\mu F$

# 测量实验仪内建非线性负阻

## 非线性负阻I-V曲线

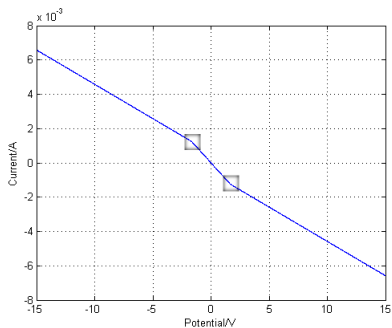


## 拟合得到数值实验的I-V 曲线

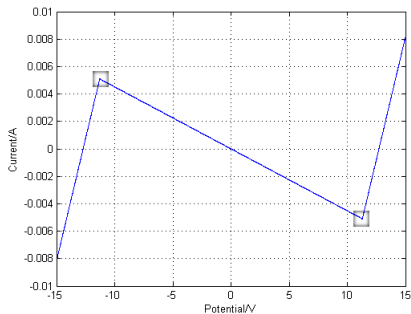


# 非线性负阻替换实验(数值模拟)

## 负阻1号(混沌不变)



## 负阻2号(混沌完全消失)

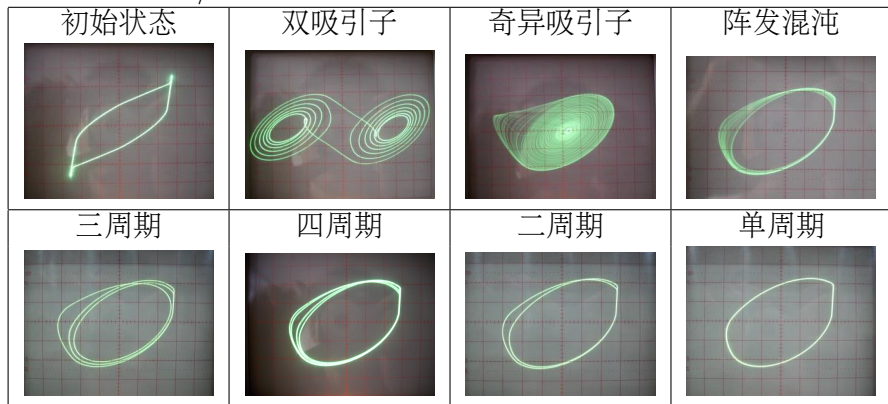


## 结论

负阻1号中的折点是本实验混沌现象的起源。

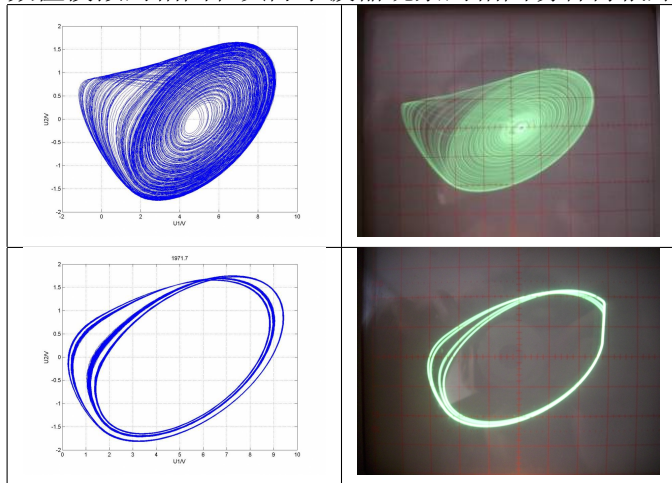
# 示波器观察 $U_2 - U_1$ 相图

随着可调电阻 $1/G$ 的逐渐增大，相图如下变化：



# 数值模拟的 $U_2 - U_1$ 相图

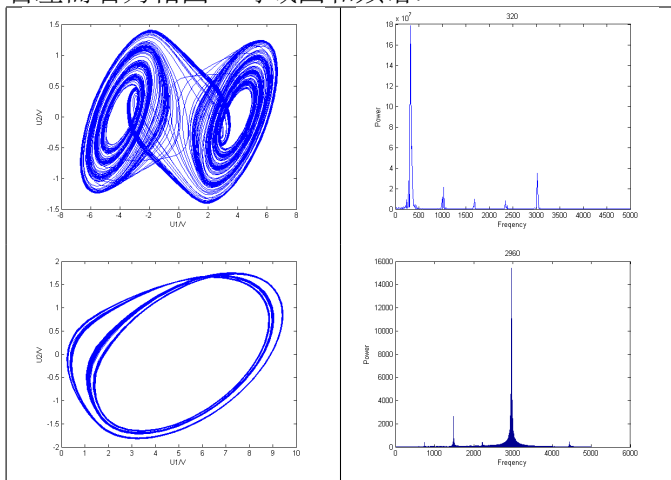
数值模拟的相图和实际示波器观察的相图吻合得很好:





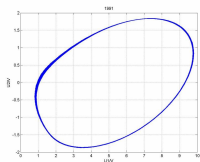
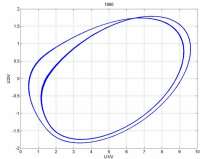
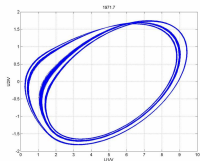
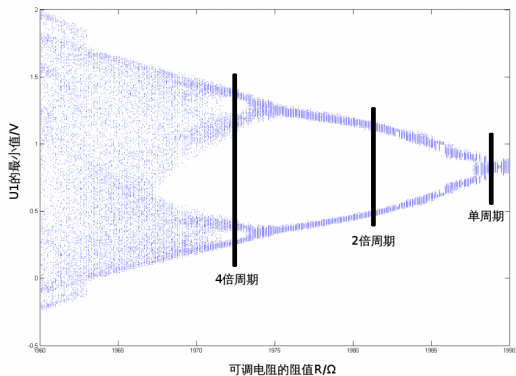
# 混沌信号频谱分析

自左而右为相图、时域图和频谱:



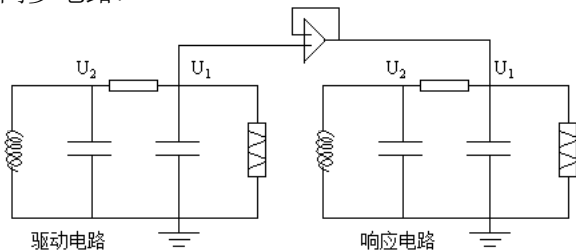
## 分岔图分析混沌信号

最小值法画出分岔图



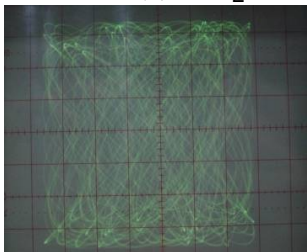
# 同步的原理

- 为什么要同步？  
非线性系统进行信号传输有诸多优点，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：

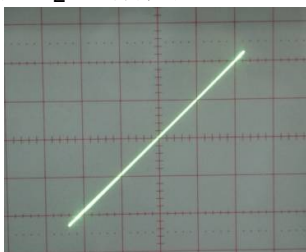


# 示波器观察“响应—驱动”相图

响应  $U_2$ —驱动  $U_2$  的相图

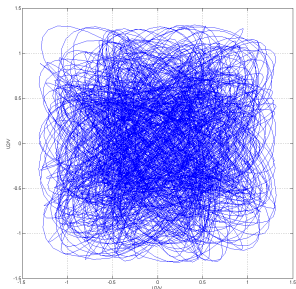


无同步

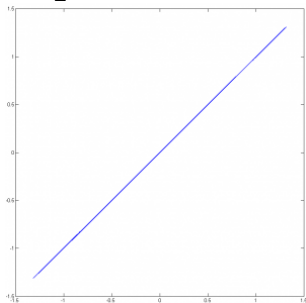


用U1信号同步

## 数值模拟的“响应—驱动”相图

响应 $U_2$ —驱动 $U_2$ 的相图

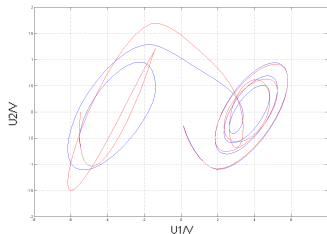
无同步



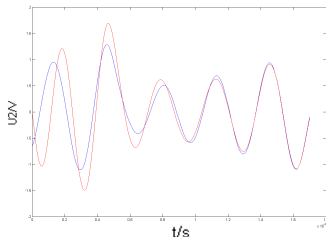
用U1信号同步

# 同步的瞬态过程

## 相图



## 时域图



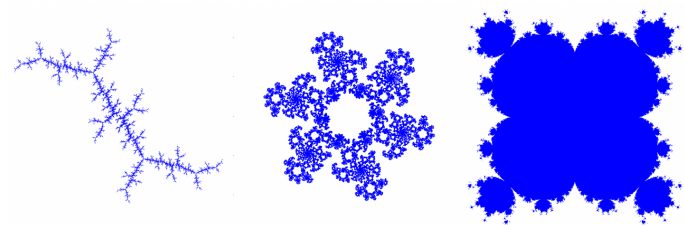
蓝色表示驱动系统，红色为响应系统。

## 结论

可以看到，在耗时1ms之后，信号就达到同步了，非常迅速。

# 分形

## 茹利亚集



## 芒德波罗集



# 可以继续的项目

- 电流对电感的影响
  - 交流、直流
  - 不同波形的信号
- 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！