

## 参数失配度对混沌同步的影响 -

王国红

(空军工程大学理学院, 陕西西安 710051)

**摘要:** 混沌保密通信是近年来通信领域研究的一个热点, 混沌同步是实现混沌保密通信的基础。研究了蔡氏电路参数失配度对混沌同步的影响。结果表明, 不同的参数其失配度对同步的影响是不同的, 由此, 可以根据参数失配度对混沌同步的影响大小选择不同精度的元器件。

**关键词:** 混沌; 保密通信; 混沌同步

**中图分类号:** TN918 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)03-0055-03

混沌信号以其宽频谱、非周期、伪随机、对初始条件极端敏感等内在抗干扰、抗破译性能, 使其在保密通信方面有着极佳的应用前景, 但前提是要实现两个混沌系统的同步。1990年, 美国海军实验室的 Pecora 和 Carroll 在实验室中利用驱动—响应法首次实现了两个混沌系统的同步<sup>[1]</sup>, 使混沌用于混沌保密掩盖通信成为可能。1992年, Kocarev L, Halle K S, Echert K, Chua L O 等学者发表了两篇关于混沌掩盖保密通信方面的论文<sup>[2,3]</sup>, 率先开辟了混沌保密通信研究的一个新领域。但由于混沌系统对初值的敏感性使参数失配对同步的影响很大, 关系到实际应用中混沌系统能否同步, 因此研究参数失配度对同步的影响很有意义。本文主要研究蔡氏电路的混沌耦合同步中参数失配度对同步的影响。

# 1 混沌系统的耦合同步

## 1.1 混沌同步的概念

混沌同步是指从不同初始条件出发的两个混沌系统, 随着时间的推移, 它们的轨线逐渐一致并保持同步(意即一个系统的轨道将收敛于另一系统轨道的同一值, 并将一直保持相互步调一致)。混沌是非线性动力学系统在一定条件下特有的一种运动方式, 主要表现在对初始条件的极端敏感性, 初始值的微扰, 使得相空间任意相邻轨道呈指数分离, 很快变得不相干, 这来源与混沌系统的相空间轨道不断的拉伸与折叠。拉伸变换使得诸轨道在相空间密集和遍历, 折叠则使得相空间轨道具有无穷层次的自相似结构。初始条件的微扰由于拉伸变大, 折叠则使得相距甚远的轨道汇合, 由此丧失了初始条件赋予系统的信息, 从而使系统的长期演化行为不可预测<sup>[4]</sup>。由于混沌信号的上述特点, 曾有人认为混沌与同步是不相容的。但通过进一步的深入研究, 人们发现在一定条件下可分割的混沌电路系统的子系统是可以同步的。自从1990年美国海军实验室的 Pecora 和 Carroll 首次用驱动—响应法在电子线路上实现了两个混沌系统的同步以来, 人们相继提出了几种混沌同步方式, 如驱动—响应同步, 耦合同步<sup>[5]</sup>, 脉冲同步<sup>[6]</sup>等。本文采用的是耦合同步。

## 1.2 蔡氏电路的耦合同步

对于两个线性耦合系统

$$\begin{cases} \dot{x} = f_1(x) \\ \dot{y} = f_2(y) + \Delta(x - y) \end{cases} \quad (1)$$

其中  $x, y \in \mathbf{R}^n$ ,  $\Delta = \text{diag}[\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T$ ,  $\delta_i$  表示耦合强度, 所谓同步就是寻求适当的  $\Delta$ , 使  $t \rightarrow \infty$  时,  $y(t)$

收稿日期: 2005-12-07

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2002 x32)

作者简介: 王国红(1961-), 女, 陕西临潼人, 副教授, 主要从事混沌保密通信、神经网络等技术研究。

→x(t)。

蔡氏电路的耦合同步原理图如图 1 所示。两个蔡氏电路通过运算放大器构成的电压跟随器与一个可调线性电阻  $R_x$  的串联作为耦合因子,将  $u_{c_2}$  及  $u'_{c_2}$  进行耦合,以实现两个混沌电路的耦合同步。该系统的状态方程为

$$\begin{cases} du_{c_1}/dt = [(u_{c_2} - u_{c_1})/R - f(u_{c_1})]/C_1 \\ du_{c_2}/dt = [(u_{c_1} - u_{c_2})/R - i_L]/C_2 \\ di_L/dt = u_{c_2}/L \\ du'_{c_1}/dt = [(u'_{c_2} - u'_{c_1})/R' - f(u'_{c_1})]/C'_1 \\ du'_{c_2}/dt = [(u'_{c_1} - u'_{c_2})/R' - i'_L + (u_{c_2} - u'_{c_2})/R_x]/C'_2 \\ di'_L/dt = u'_{c_2}/L' \end{cases}$$

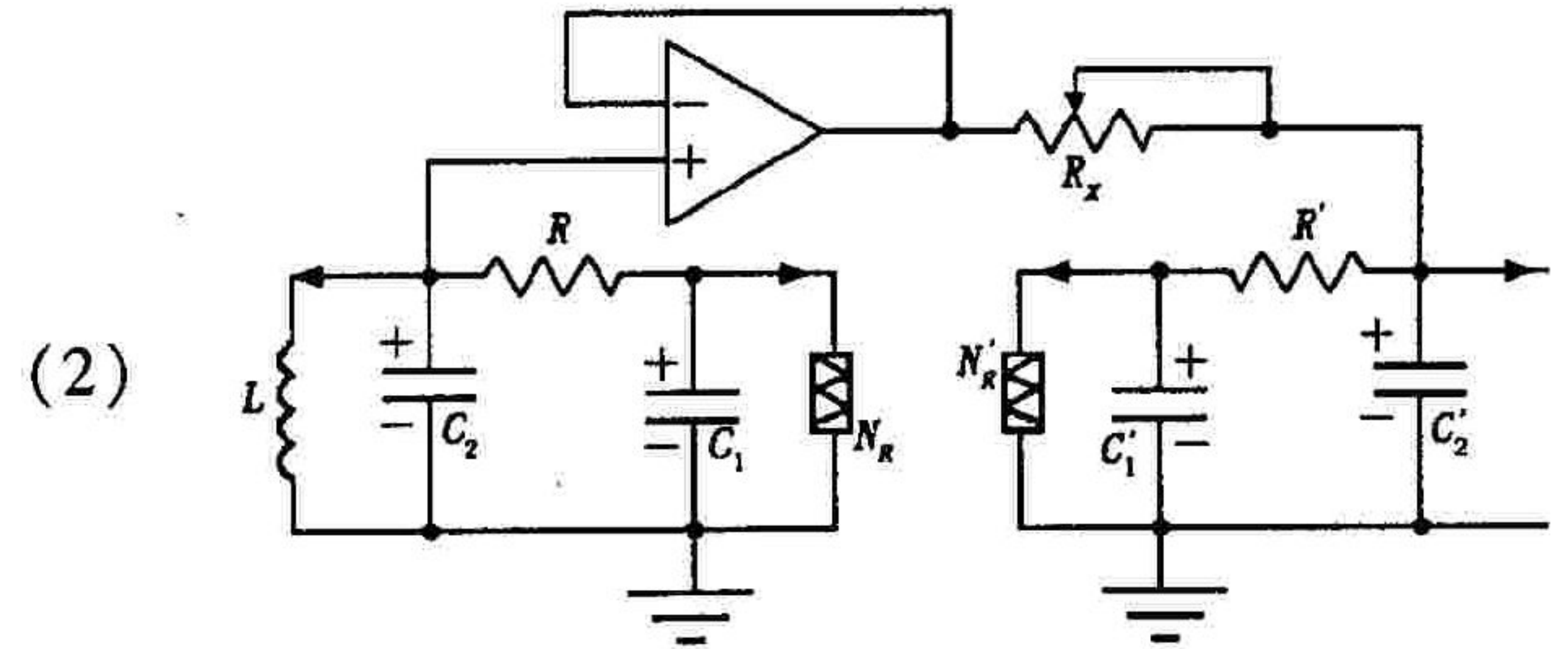
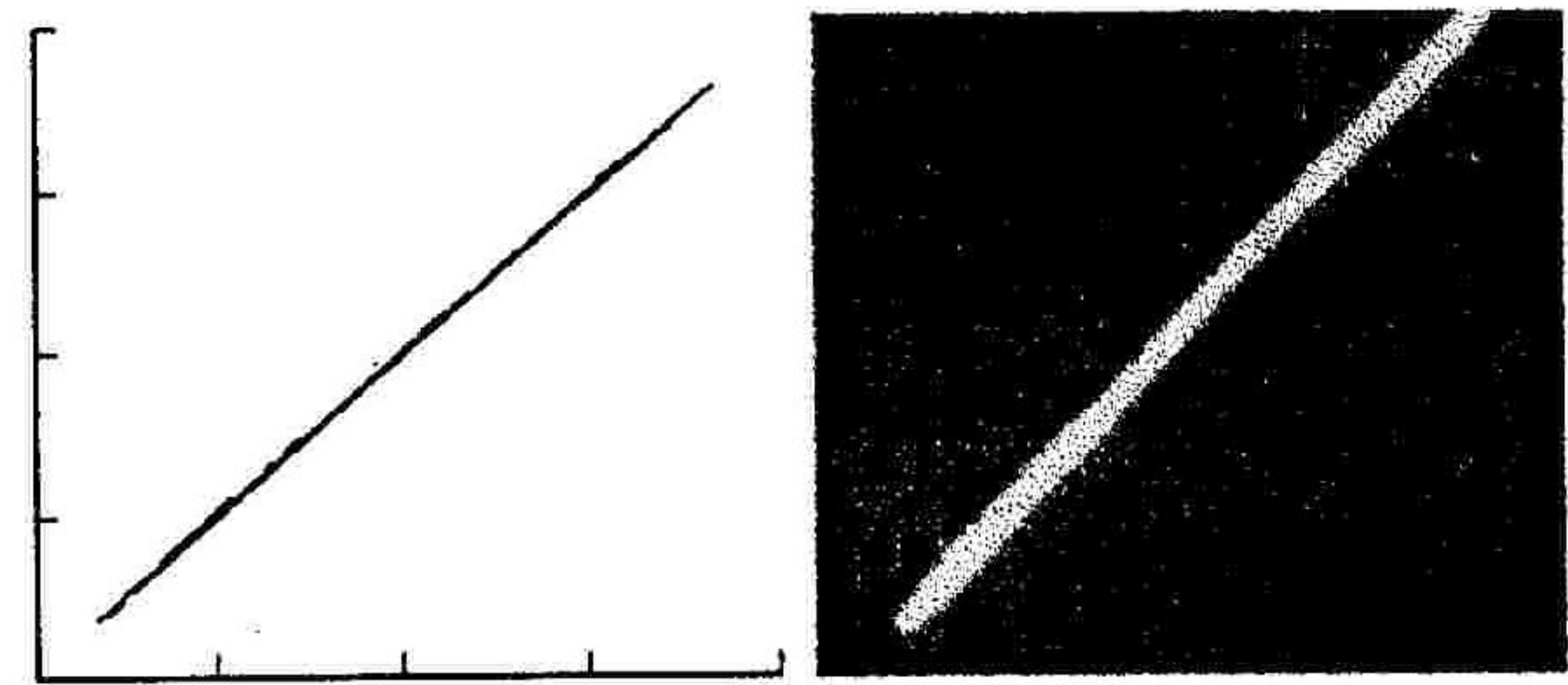


图 1 蔡氏电路之间耦合混沌同步原理图

式中  $u_{c_1}$ 、 $u_{c_2}$ 、 $u'_{c_1}$ 、 $u'_{c_2}$  分别为电容  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C'_1$ 、 $C'_2$  两端电压;  $i_L$ 、 $i'_L$  分别为流过电感  $L$ 、 $L'$  的电流;  $f(u_{c_1})$ 、 $f(u'_{c_1})$  分别是描述非线性电阻  $N_R$ 、 $N'_R$  的伏安特性折线多项式<sup>[7]</sup>。

我们对上述系统进行了同步的仿真研究与实验研究,同步的仿真研究与实验研究结果如图 2 所示。在实验中为了保证两混沌电路的同步,采用的都是精密电阻,而且要反复筛选。通过研究表明,调节电阻  $R_x$  的值可以改变同步的效果。如果两混沌电路之间无耦合,即使两混沌电路参数完全一样,也不能达到同步。另外电路参数的失配对同步的影响非常大<sup>[8]</sup>。



(a) 混沌同步的仿真结果 (b) 混沌同步的实验结果

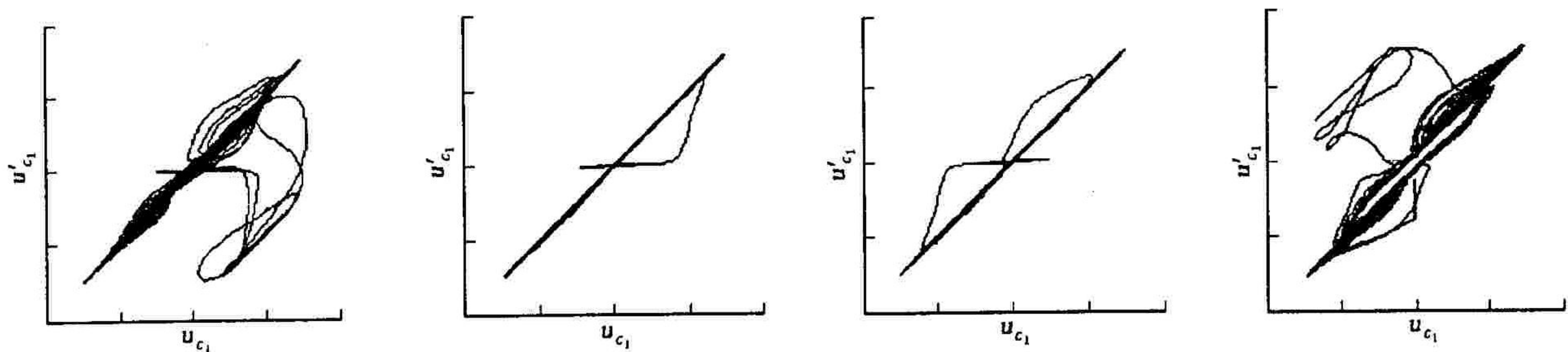
图 2 蔡氏电路混沌同步仿真及实验结果图

### 2 参数失配度对混沌同步的影响

本节用 EWB 软件对图 1 所示混沌同步系统参数失配度对同步影响进行了仿真研究。EWB 软件是电子工作台——Electronic Workbench 的英文缩写,是一个集常用电子元件及多种虚拟仪器于一体的软件,仿真时选择的电路参数如下:  $C_1 = C'_1 = 10 \text{ nF}$ 、 $C_2 = C'_2 = 100 \text{ nF}$ 、 $L = L' = 19 \text{ mH}$ 、 $R = R' = 1\ 641 \ \Omega$ 、 $R_x$  为  $0 - 2\ 000 \ \Omega$  连续可调。在 EWB 工作台中把两混沌电路的电容  $C_1$ 、 $C'_1$  的电压  $u_{c_1}$  及  $u'_{c_1}$  分别送入虚拟示波器的 A、B 通道,以观察参数失配对同步的影响。

#### 1) 参数失配度为 1% 情况下的同步效果

参数值失配 1% 时的同步效果如图 3 所示。图 3(a)、(b)、(c)、(d) 分别为电容  $C'_1$ 、 $C'_2$ 、电感  $L'$ 、电阻  $R'$  在参数值失配 1% 时两混沌电路中电容电压  $u_{c_1}$ 、 $u'_{c_1}$  的同步相图。从图中可以看出,  $C'_2$ 、 $L'$  两个参数在失配 1% 的情况下,刚开始没有同步但很快就基本同步了,而  $C'_1$  和  $R'$  两个参数在失配 1% 的情况下同步效果不理想。这说明  $C'_1$  和  $R'$  两个参数的失配对同步的影响非常大。



(a)  $C'_1$  失配 1% 同步图 (b)  $C'_2$  失配 1% 同步图 (c)  $L'$  失配 1% 同步图 (d)  $R'$  失配 1% 同步图

图 3 参数失配 1% 时的同步相图

### 2) 参数失配度为3%的情况下的同步效果

参数失配3%时的同步效果如图4所示。图4(a)、(b)、(c)、(d)分别为电容 $C'_1$ 、 $C'_2$ 、电感 $L'$ 、电阻 $R'$ 在参数值失配3%时两混沌电路中电容电压 $u_{c_1}$ 、 $u'_{c_1}$ 的同步相图。从图中可以看出, $C'_2$ 在参数值失配3%的情况下,还可以达到同步; $L'$ 在参数值失配3%时同步效果要稍差一些, $C'_1$ 在参数失配3%时同步效果很差;而从图4(d)可看出在 $R'$ 失配3%时, $u_{c_1}$ 、 $u'_{c_1}$ 已完全不同步了。

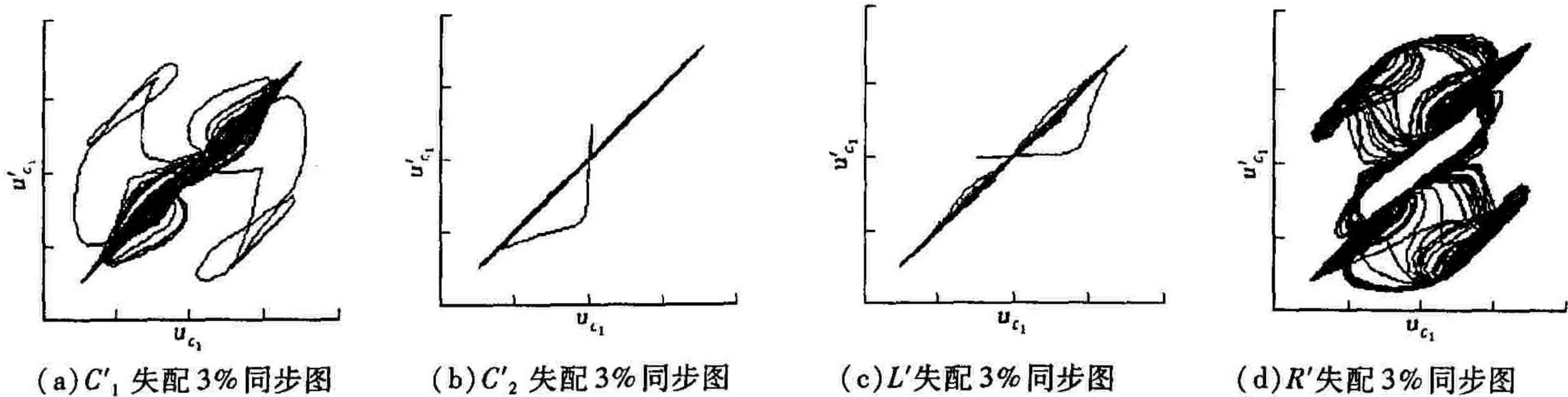


图4 参数失配3%时的同步相图

### 3) 参数失配度为5%的情况下的同步效果

参数值失配5%时的同步效果如图5所示。图5(a)、(b)、(c)、(d)分别为电容 $C'_1$ 、 $C'_2$ 、电感 $L'$ 、电阻 $R'$ 在参数值失配5%时两混沌电路中电容电压 $u_{c_1}$ 、 $u'_{c_1}$ 的同步相图。从图中可见只有 $C'_2$ 在参数值失配5%时还基本可以同步,其它参数在参数值失配5%的情况下同步效果都不好,有的已经完全不同步了(如图5(a)、(d))。

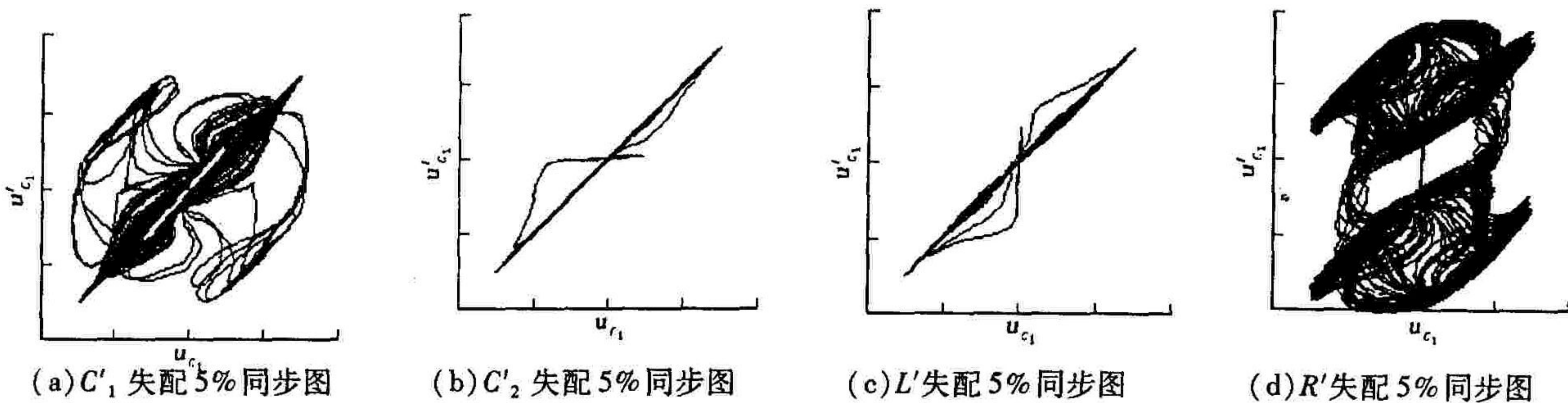


图5 参数失配5%时的同步相图

## 3 结束语

1) 通过对耦合同步的仿真研究和实验研究得出:两蔡氏混沌电路可以通过耦合达到同步,调节电阻 $R_c$ 的值可以改变同步的效果。如果两混沌电路之间无耦合,即使两混沌电路参数完全一样,也不能达到同步。

2) 通过参数失配度对同步影响的研究得出:参数失配度对同步的影响比较大,而且各参数失配度对同步的影响是不同的。在 $u_{c_2}$ 及 $u'_{c_2}$ 进行耦合的情况下,参数 $C'_2$ 的失配度对同步影响较小;参数 $L'$ 影响次之;参数 $C'_1$ 的失配度对同步影响较大;参数 $R'$ 的失配度对同步影响最大。所以在设计电路时根据参数失配度对同步影响的不同程度,可采用不同精度的元件。

3) 由于蔡氏电路组成的混沌同步系统对参数失配度要求较高,给实际应用带来较大困难,应加以改进。

混沌保密通信尚处于研究的初始阶段,还有许多问题需要继续研究和探讨,如同步、抗干扰、实用化和与现有系统兼容性问题,但是她所具有的突破性、创新性、战略性已显示出了它巨大的发展潜力和美好前景,必将在人们生活中,尤其是军事及国家安全和通信对抗中扮演重要的角色。

### 参考文献:

- [1] Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in Chaotic Systems[J]. Phys Rev Lett, 1990, 64(8): 821 - 823.
- [2] Echert S K, Chua L O. Experimental Demonstration of Secure Communication Via Chaotic Synchronization[J]. Bifurcation and Chaos, 1992, 2(3): 709 - 713.