
摘要

本设计是一种采用 PCB 板外接 51 单片机编程可控开关的混沌电路发生装置。采用改进版蔡氏电路。利用回转器电路模拟电感，使其满足无电感的情况下产生相应相图；增加运放放大装置，使相图的幅值达到预定要求。将继电器作为开关使用，经单片机按键方式为继电器提供不同的信号来控制 PCB 导通的状态，在选定的测试点接入示波器测定电路在接入不同电阻时候电路相图情况，从而得到一倍、二倍、三倍周期相图、单涡旋相图、双涡旋相图，并且运用串口屏观察带宽值。整体设计符合设计要求

关键词：蔡氏混沌电路，单片机，回转电路，带宽；

混沌信号产生实验装置（D 题）

【本科组】

一、系统方案

本文以蔡氏混沌电路作为基础，通过改变独立电感元件的阻值来研究在不同情况下产生的混沌，同时改进电路，利用运放和电阻、电容来代替有源电感，模拟新型蔡氏电路，从而实现蔡氏电路在元件参数改变的情况下依然可以在某种情况下产生混沌现象。

本系统主要由单片机控制模块、混沌信号产生模块、线性电压转化模块组成，下面分别论证其中几个模块的选择。

1、控制模块的论证与选择

方案一：采用在面包板上搭建简易混沌信号产生实验装置

在面包板上搭建混沌信号产生实验装置可以方便的对硬件做随时修改，也易于搭建，但是系统连线较多，不仅相互干扰，使电路杂乱无章，而且系统可靠性低，不适合本系统使用。

方案二：自制 PCB 印刷电路板

简化了电子产品的装配、焊接、调试工作布线密度高，缩小了整机体积具有良好的产品一致性，便于整机产品的互换和维修。

综合以上两种方案，选择方案二。

2、混沌信号产生模块的论证与选取

方案一：选 LM358 作为运放，构建混沌产生电路，经调试后选取合适阻值的电阻，电容等元器件。通过手动开闭电路开关，实现对不同阻值状态下的混沌电路的选择。

方案二：选取 THS3001 作为运放，经调试后选取合适阻值的电阻，电容等元器件。利用单片机编程可控开关，连接继电器，进而实现对不同阻值状态的混沌电路的选择。

综合以上两种方案，方案一简便且电路简单便于实现与调试。但电路图偏复杂，PCB 制板时不易布线，且电路不定因素大，易受环境影响。同时 LM358 芯片本身带宽不足，限制了产生混沌信号的带宽，不符合题干要求故舍弃。方案二芯片本身性能良好，带宽符合要求，利用编程控制继电器实现开关使得 PCB 制作一定程度简化，便于装置的调试。故选择方案二。

3 电压模块的论证

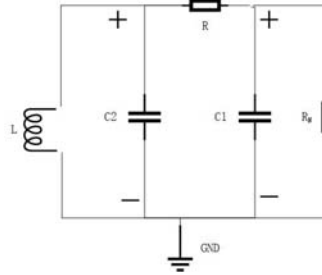
由于题目要求测试时是单电源供电，而所考虑的芯片都是双电源供电，因此使用电源模块对单电源进行 DC-DC 转化以实现双电源功能。

二、系统理论分析与计算

1、混沌电路原理的分析

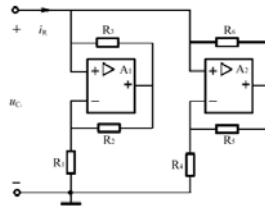
(1) 蔡氏混沌电路

如图 1 所示，蔡氏混沌电路是由电阻、电感、电容和一个分段线性电阻组成，电阻 R 、电感 L 、电容 C_1 与 C_2 组成线性部分，只由一个分段线性电阻 R_N 组成非线性部分，分段线性电阻 R_N 也就是有源非线性负阻元件。其中电感 L 和电容 C_2 组成振荡回路，其损耗可以忽略；电阻 R 和电容 C_1 串联，移相输出振荡产生的正弦信号。



图一

有源非线性电阻的实现有源非线性电阻 R_N 是蔡氏混沌电路中的一个重要元件，由 2 个负阻并联而成，电路见图二



图二

如果计及运放工作在饱和区的情况，结合负阻抗变换器的理论知识，可以得到其端口的 $u-i$ 特性曲线有 5 段曲线。将混沌电路工作在其中的三段负阻折线区，便可实现其分段线性的负电阻 R_N 。其中有：

$$G_{b1} = -\frac{R_2}{R_1 R_3}, G_{b1} = \frac{1}{R_3}; G_{b2} = \frac{R_5}{R_4 R_6}, G_{b2} = \frac{1}{R_6}$$

$$E_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{sat}, E_2 = \frac{R_4}{R_4 + R_5} U_{sat}$$

U_{sat} 为运放的饱和值。

$$G = G_{b1} + G_{b2}, G = G_{b1} + G_{b2}, G = G_{b1} + G_{b2}$$

(3) 蔡氏混沌电路的实现

由基尔霍夫定律可得电路的状态方程为

$$\begin{cases} \frac{du_1}{dt} = \frac{1}{RC_1}(u_2 - u_1) - \frac{1}{C_1}f(u_1) \\ \frac{du_2}{dt} = \frac{1}{RC_2}(u_1 - u_2) + \frac{1}{C_2}i_L \\ \frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L}u_{C_2} \end{cases}$$

其中，由于 RN 的非线性负阻特性，因此 $f(u_{C1})$ 是一个三段线性的分段函数，其函数形式为

$$f(u_{C1}) = G_b V_{C1} + \frac{I}{2}(G_a - G_b)(|u_1 + E| - |u_1 - E|)$$

求解此状态方程，发现其相空间轨迹具有双涡旋结构。改变电路中 R 的大小，电路会首先工作于周期 1 周期 2、周期 3 等各种周期；然后随着 R 的持续减小，会先出现单涡旋混沌，再出现双涡旋混沌。

2、基于有源模拟电感的蔡氏电路设计与实现

(1) 有源模拟电感的实现

在实际的蔡氏电路中，电感的参数不仅很难得到准确控制，而且非常容易受到频率、环境等各种因素的影响。为了将电感内阻对电路的影响降到最低，可以在实验中将实际的电感用模拟电感代替。为此，结合电路实验中原有的必做实验，采用了回转器电路来实现模拟电感，根据运算放大器的特性，可以得到该电路输入阻抗运算形式为 $Z_i(s) = U(s) / I(s) = Z_1 Z_3 Z_5 / Z_2 Z_4$

为实现接地模拟电感，可以选 Z_2 或 Z_4 为电容。当将 Z_2 选为电容时，有 $Z_2 = s^{-1} C_2$ ， $Z_k = R_k$ ($k = 1, 3, 4, 5$)，求得 $Z_k = s R_1 R_3 R_5 C_2 / R_4$ ，模拟电感 L_{eq} 为 $L_{eq} = R_1 R_3 R_5 C_2 / R_4$

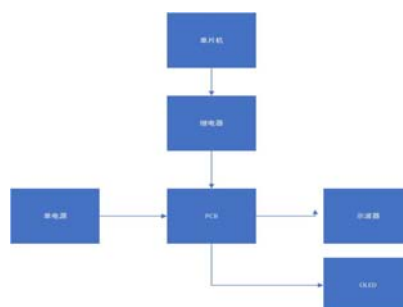
改变式中任意一个电容值或者电阻值，模拟电感的数值都会发生改变，从而获得需要的电感值。但是要注意，模拟电感数值仅是非线性电路中的一项指标，为了保证模拟电感在特定电路中的正常工作，还需要设计不同的动态范围，来满足各种非线性电路的要求。

三、电路与程序设计

1、电路的设计

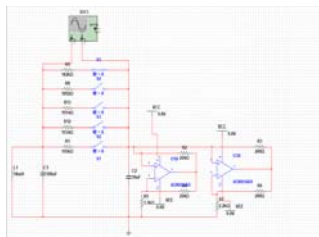
(1) 系统总体框图

如图三所示



图三 系统总体框图

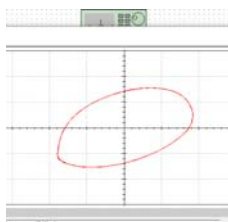
(2) 蔡氏混沌电路原理图



图四

各类混沌电路（设计与仿真）

1 单倍周期的稳定周期相图；



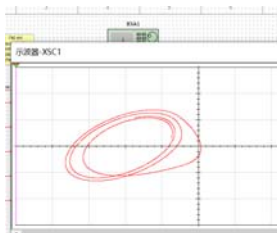
图五（a） $R=2200\ \Omega$ ，周期 1

2 双倍周期的稳定周期相图；



图五（b） $R=2060\ \Omega$ ，周期 2

3 三倍周期的稳定周期相图；



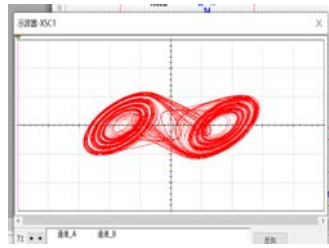
图五（c） $R=2020\ \Omega$ ，周期 3

4 单涡旋混沌信号相图

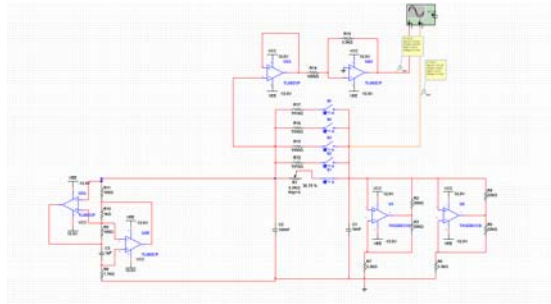


图五（d） $R=2005\ \Omega$ ，单涡旋

5 双涡旋混沌信号相图



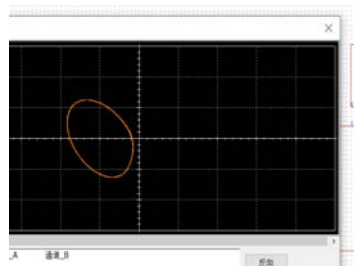
图五 (e) $R=1900\ \Omega$ ，双涡旋
(3) 基于有源模拟电感的蔡氏电路的实现



图六

各类混沌电路（设计与仿真）

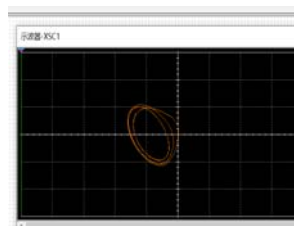
1 单倍周期的稳定周期相图；



图七 (a) $R=2000\ \Omega$ ，周期 1
2 双倍周期的稳定周期相图；

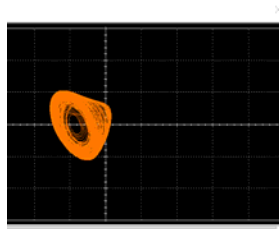


图七 (b) $R=1970\ \Omega$ ，周期 2
3 三倍周期的稳定周期相图；



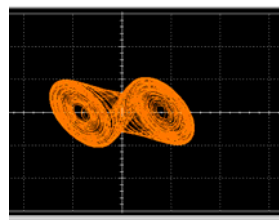
图七（c） $R=1950\ \Omega$ ，单涡旋

4 单涡旋混沌信号相图



图七（d） $R=1936\ \Omega$ ，单涡旋

5 双涡旋混沌信号相图



图七（e） $R=1914\ \Omega$ ，双涡旋

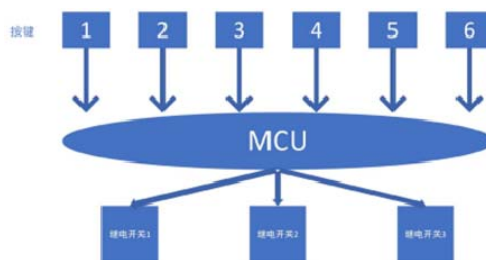
2、程序的设计

（1）程序功能描述与设计思路

1、开关程序功能描述

单片机定义六个开关接口，电路不工作时开关按键对应引脚电位为低电平。进入选择时按下 1——6 任意开关按键，经单片机处理，该按键对应引脚电平变高，经导线转到对应继电器开关处，实现对电路的开关编程实现。

（2）程序流程图



图九

四、测试方案与测试结果

1、测试方案

（1）硬件测试

1 我们本次实验应用到了 DC/DC 转换装置，首先应用电源与示波器测试一下 DC/DC 转换装置的功能应用。

2 在进行实际 PCB 搭建之前，我们首先汇总所用的元器件，并且在面包板上进行元件测试。实际 PCB 搭建之后，将元器件焊接在 PCB 板上，检验 PCB 电路输出情况，若有误则测每个点位。

（2）软件仿真测试

我们搭建电路仿真选用 multisim 软件，通过不断调节电位器的位置来观察测试点的 Y-T 波形。

（3）硬件软件联调

对于电路里面开关的切换，我们采用的是单片机控制继电器方式。用 keil 软件编写端口定义代码，提供时钟沿的高低电平，控制继电器的工作，用普中 ISP 程序烧写器烧入单片机中。

在检测 PCB 板的过程中，如果在输出的位置发现无法得到相应的波形，则对照 multisim 中的相应点位，找到 PCB 的相应位置，测试该点位输出是否正确，以此类推，直至最后成功。

2、测试条件与仪器

测试条件：检查多次，仿真电路和硬件电路必须与系统原理图完全相同，并且检查无误，硬件电路保证无虚焊。

测试仪器：高精度的数字毫伏表，示波器，指针式万用表，直流电源。

3、测试结果及分析

（1）测试结果(数据)

电路类型	R=2179 Ω	R=2070 Ω	R=2018 Ω	R=1950 Ω	R=1910 Ω
有电感混沌电路	单周期相图	双周期相图	单涡旋混沌	三周期相图	双涡旋混沌
电路类型	R=2010 Ω	R=1980 Ω	R=1940 Ω	R=1930 Ω	R=1915 Ω
无电感混沌电路	单周期相图	双周期相图	单涡旋混沌	三周期相图	双涡旋混沌

（2）测试分析与结论

1 有无电感时均可以得到上述稳定相图。且单，双涡旋的幅度值不小于电源电压 VCC 的 80%。双涡旋的带宽经改进后得到有效提升，一定程度上满足题干要求。

2、分析：蔡氏电路基本可以实现混沌信号的产生与调节，但需要产生高带宽可控信号仍需查阅资料，并辅以编程实现。

综上所述，本设计达到设计要求。