

摘要

该设计分为 5 个模板:混沌电路原理分析模块、宽带混沌电路设计模块、模拟电感处理模块、各类混沌电路设计模块、状态控制电路设计模块。混沌电路原理分析用来解释混沌电路的产生原理及设计总思路;宽带混沌电路设计满足高频率下的电路要求;模拟电感处理使用放大器处理消除电感带来的内阻误差;各类混沌电路设计比较蔡氏电路、考比兹电路等以便找出最优电路;状态控制电路防止人为控制影响混沌电路敏感,本文使用单片机控制继电器作为控制开关。

关键词: 蔡氏混沌电路, 相图, 等效电感

一、 系统方案

1.1 宽带混沌电路设计模块

方案一:三极管

三极管是良好的放大元件,应用三极管搭建的 Colpitts circuit 具有较高的宽带频率,但是当工作处于高频状态时,由于三极管的集电极与基极之间的寄生电容短路接地,从而严重影响电路的振荡状态,此时基频只有三极管截至频率的 0.1 倍。

方案二:晶体振荡

石英晶体具有良好的稳定性,晶振是电子线路中最常见的元件,相比于 LC 振荡具有很好的稳定性和高频性,其在工作状态中有稳定的频率和脉冲,但是目前方案中禁止使用晶振。

方案三:LC 振荡

LC 振荡电路又称谐振电路,其可以产生一定的频率,其使用一个电感与电容连接起来电路,在实际制作中要使电阻尽可能的小,产生无阻尼振荡,通过 LC 振荡器我们可以产生所需要的频率,因此在只有电容放大器的情况下选择 LC 振荡。

1.2 各类混沌电路设计模块

方案一:蔡氏混沌电路

蔡氏混沌电路是最典型的混沌电路,也是简单的非线性电子电路设计,蔡氏电路所需要元器件少,操作简单,不过蔡氏电路所达到的频率远远不满足题目要求,因此必须进行改进。

方案二:范德坡混沌电路

范德坡电路也是一种常见的电路,但是我国对于范德坡电路研究甚少,没有足够资料查询与学习。

方案三:考比兹混沌电路

宽带考比兹混沌电路是一种结构相对简单的宽带混沌电路,电路中只含有一个非线性元件-三极管,其与 RLC 选频电路搭建,最后输出一定的带宽的混沌电路。

1.3 状态控制电路设计模块

方案一:使用多个开关处理

该方案简单且容易操作,价格也便宜,通过电路的开关转换,可以切换在我们所需要的电路中,简单快捷。

方案二:使用单片机控制继电器作为开关

使用单片机接继电器,以偏小信号控制大电流,使用单片机的引脚输出来达到开关的闭合,然而由于所占空间较大,经济效益低,故排除此方法。

二、理论分析

2.1 混沌电路原理分析:

混沌信号是由确定性系统产生的伪随机信号,具有对初始条件极度敏感、类噪声的宽带连续功率谱等特性,且易于产生和控制,在保密通信、扩频通信、雷达、超宽带通信等无线系统中得到了广泛的应用。其中,在发生混沌行为之前,一个由标准部件(自激电路)必须满足三个要求:

- (1)一个或多个非线性元件
- (2)一个或多个本地有源电阻
- (3)三个或多个能量储存元件

1. 有源非线性电阻的实现

一般的器件形成的是有线性的正阻,即两端电阻升高时,端电流也随之升高,且 $U-I$ 形成线性变化,所谓正阻,就是 I 与 U 成正相关,且曲线斜率为正,相对的便是有源非线性负阻,即 $U-I$ 成负相关,且非线性,在能量角度来说,正阻消耗能量,产生功率,而负阻不消耗能量,反而向外输出功率,我们称之为产能元件。一般来说,我们由两个运算放大器和六个配置电阻来实现,下图便是有源负阻抗变换器电路,所产生的图像有五段折线表示,其中中间的三段可以产生负阻抗效应。

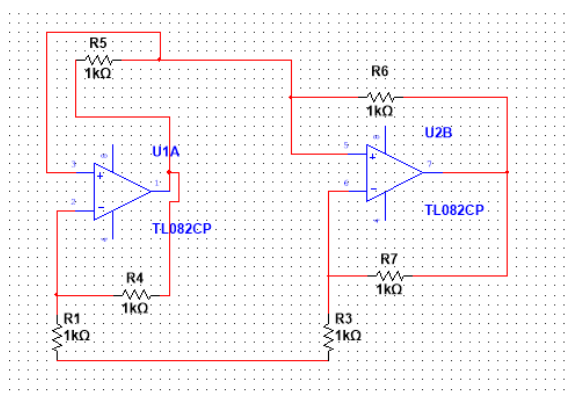


图1 负阻抗变换器电路内部结构图示

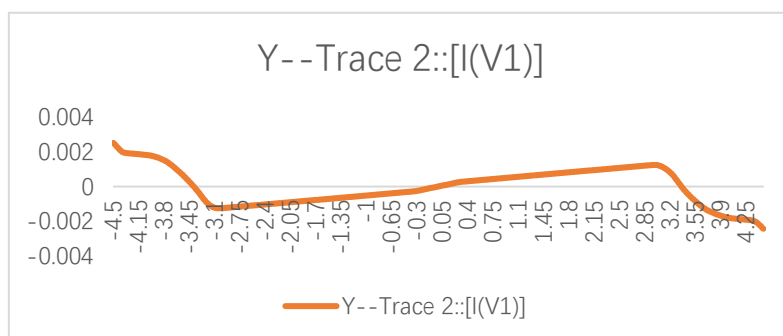


图2 伏安特性曲线

2. 混沌:

混沌是一种运动状态，是确定性中出现的无规律性，其主要特征是动力学特性对初始条件的依赖性非常敏感。一个混沌系统即使确定的又是不可预测的，也不能分解为两个子系统，通向混沌有三条主要途径：倍周期分岔道路；阵发性道路；准周期道路。另外还有湍流道路，剪切流转等产生混沌。

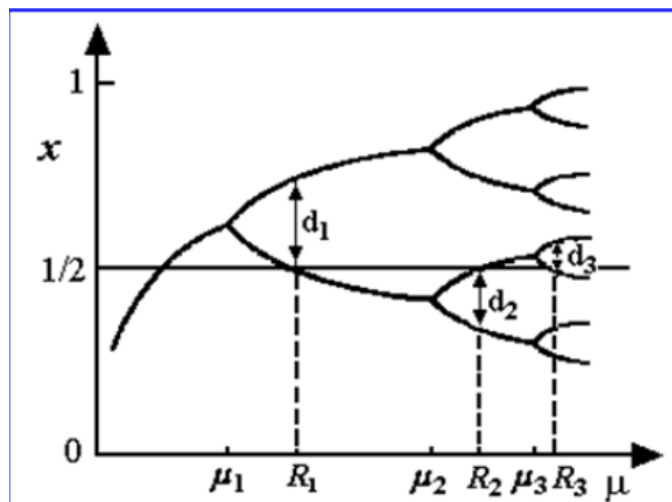


图 3 典型的倍周期分岔道路示意图

其中，两次分岔的间隔之比称为常数 z ，其中 $\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{u(n) - u(n-1)}{u(n+1) - u(n)} = z = 4.6692$ ，我们称之为费根鲍姆第一常数，此外，上图中 $\frac{d(n+1)}{dn} = a = 2.5029$ ，我们将此值成为费根鲍姆第二常数。

为费根鲍姆第一常数，此外，上图中 $\frac{d(n+1)}{dn} = a = 2.5029$ ，我们将此值成为费根鲍姆第二常数。

其中两个费根鲍姆常数都具有普适意义。

3. 吸引子：

在耗散动力学系统中，长时间状态最终都要演变为有限的空间的状态吸收集上，这样的状态叫做吸引子，它是一个稳定的不动点。从相空间上看，系统演化的目的体现为一定的点集合，具有如下特征：(1) 终极性 (2) 稳定性 (3) 吸引性

4. 非线性电路：

其中，蔡氏电路是能产生混沌的最简单的电路其由两个电容和一个电感，一个非线性电阻元件，其中非线性电阻元件是核心是混沌产生的必要条件。

由基尔霍夫电流定律可得到蔡氏电路的非线性动力学方程：

$$I_{c1} = I_R - I_{RN}$$

$$I_{c2} = I_L - I_R$$

$$L \frac{di(L)}{dt} = -U_{c2}$$

得到：

$$C_1 \frac{dU(c1)}{dt} = \frac{1}{R} (U_{c2} - U_{c1}) - \frac{U_{c1}}{RN(U_{c1})}$$

$$C_2 \frac{dU(c2)}{dt} = \frac{1}{R} (U_{c1} - U_{c2}) + I_L$$

$$L \frac{di(L)}{dt} = -U_{c2}$$

方程组中 U_{c1} 、 U_{c2} 和 I_L ，任何一个量都可以描述系统状态，不存在解析解，只能数值

求解。数值结果表明:对 U_{c1} 、 U_{c2} 和 I_L 分别求解,可以得到系统相同的运动规律,即由周期震荡通过倍周期分岔进出混沌,具体发展是:周期震荡 \rightarrow 2 周期 \rightarrow 2ⁿ周期 \rightarrow 阵发混沌 \rightarrow 单吸引子 \rightarrow 双吸引子临界状态 \rightarrow 双吸引子临界状态 \rightarrow 稳定双吸引子。方程组中 R、L、 C_1 和 C_2 的取值对计算结果的影响极大,取值只要发生微小变化甚至 10^{-6} 量级,解就会从一个态变成另一个态,甚至从稳定态,变成不稳定态,从周期状态变成混沌状态。

2.2 宽带混沌电路的设计

宽带考比兹混沌电路是一种结构相对简单的宽带混沌电路,电路中只含有一个非线性元件-三极管,其与 RLC 选频电路搭建,最后输出一定的带宽的混沌电路。

2.3 不使用电感的处理方法

电感具有内阻,因此在混沌电路中不能使用电感,细小的误差会导致结果千差万别。

基于理想电感分析与仿真难以精确模拟实物响应,现使用模拟电感来代替理想电感。模拟电感的优势在于可以用电阻、电容、运算放大器构建出,而电容、电阻数值稳定且选有连续性,模拟电感可以等效为没有内阻消耗的理想电感。

模拟电感的理论计算与讨论:有源模拟电感由 1 个运算放大器 TL082 的 2 个单元以

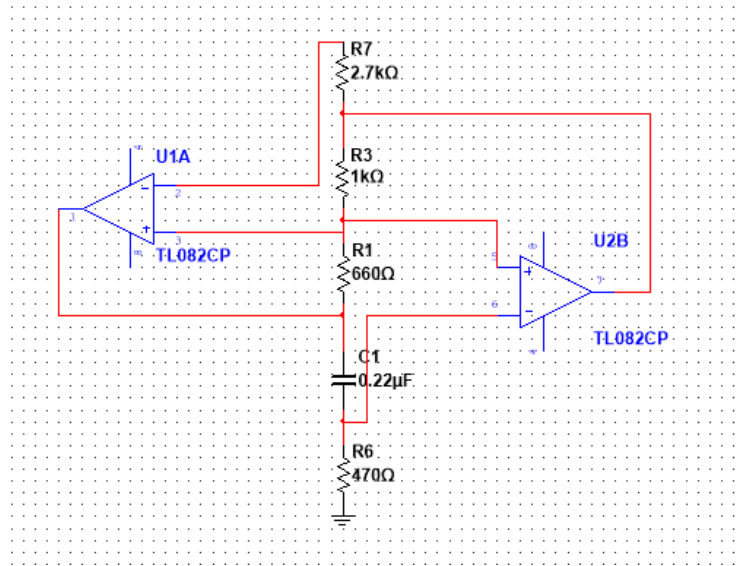


图 4 有源模拟电感原理图

及电阻 R11、R12、R13、R15, 电容 C4 组成, 电路原理如图所示。

假设流入节点 V1 的电流为 I, 从上至下 4 个节点的电压分别为 V2、V3、V4、Z5, 记 R11、R12、R13、C4、R15 的阻抗为 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5。根据运算放大器的虚拟短路和断路, 有:

$$V1=V3=V5 \quad (1)$$

$$I = \frac{V1-V2}{Z1} \quad (2)$$

又因为:

$$\frac{V1-V2}{Z1} + \frac{V1-V4}{Z3} = 0$$

所以：

$$V_1 - V_2 = - \frac{V_1 - V_4}{Z_3} Z_2$$

对应于(2)式可以表示为：

$$I = -Z_2 \frac{V_1 - V_4}{Z_3 Z_1}$$

又因为

$$\frac{V_1 - V_4}{Z_4} + \frac{V_1}{Z_5} = 0$$

$$V_4 - V_1 = \frac{V_1}{Z_5} Z_4$$

根据前式得出结论：

$$I = \frac{V_1}{Z_5 Z_1 Z_3} Z_2 Z_4$$

最终模拟的总阻抗为：

$$Z = \frac{V_1}{I} = \frac{Z_5 Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4}$$

其中当 Z_1 、 Z_3 、 Z_5 全为电阻的时候，且 Z_2 、 Z_4 为电容时，其电路成为电感形式，且其模拟电感的数值为：

$$Z = L = (R_1 R_3 R_5) / (R_2 R_4)$$

三、 电路与程序设计

3.1 各类混沌电路的设计

(1) 蔡氏混沌电路

如图 1 所示，蔡氏混沌电路是一个三阶非线性自制电路，它由电阻、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 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。

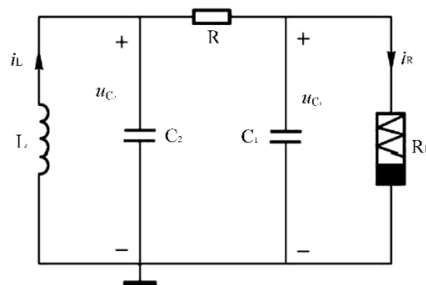


图 5 蔡氏混沌电路原理图

有源非线性电阻 R_N 是蔡氏混沌电路中的一个重要元件，用其代替电感消除了电感内阻，最终我们对最简单的蔡氏电路进行改进，模拟电感的蔡氏电路不需赋予初始值，其电路图如下：

(2) 宽带混沌电路

对于宽带电路，在要求为 40Mhz 的要求下，我们小组设计出如下电路图，其中最大频率达到 25Mhz。

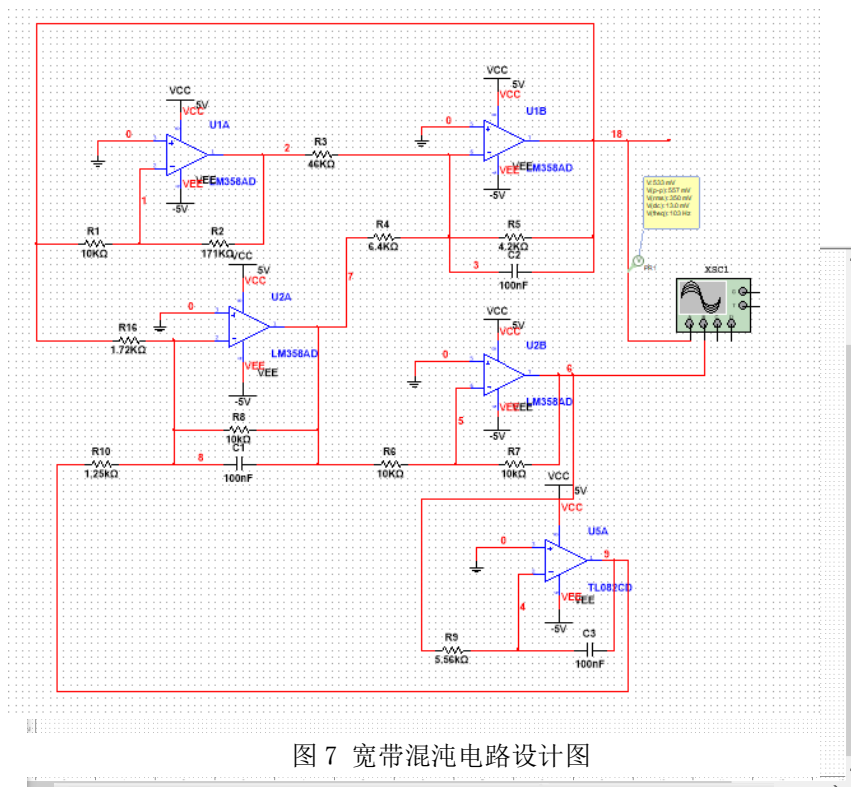


图 7 宽带混沌电路设计图

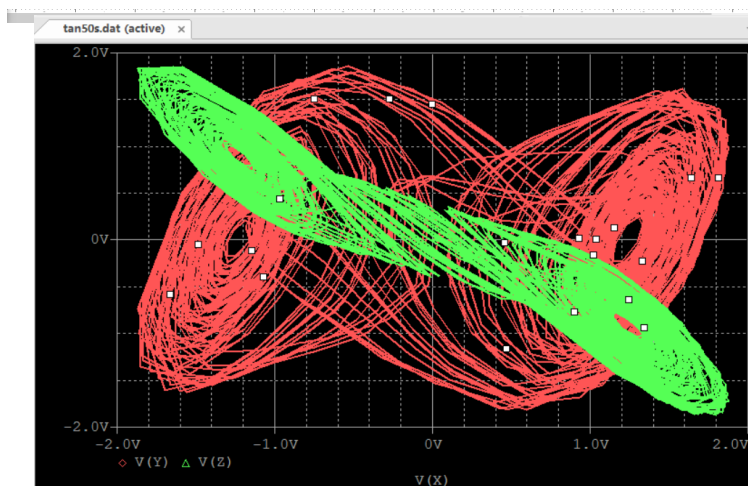


图 8 仿真波形

3.2 状态控制电路设计

对于电路的控制功能，计划使用开关控制，对于不同的相图所需的 R ，通过开关的闭合或断开控制接入阻值，同时控制放大电路，保证产生波形失真度减小的同时，有较

大的幅值。

四、 测试方案与测试结果

(1) 首先进行 multisim 系统仿真, 对于单倍周期, 双倍周期等显示图像如下:

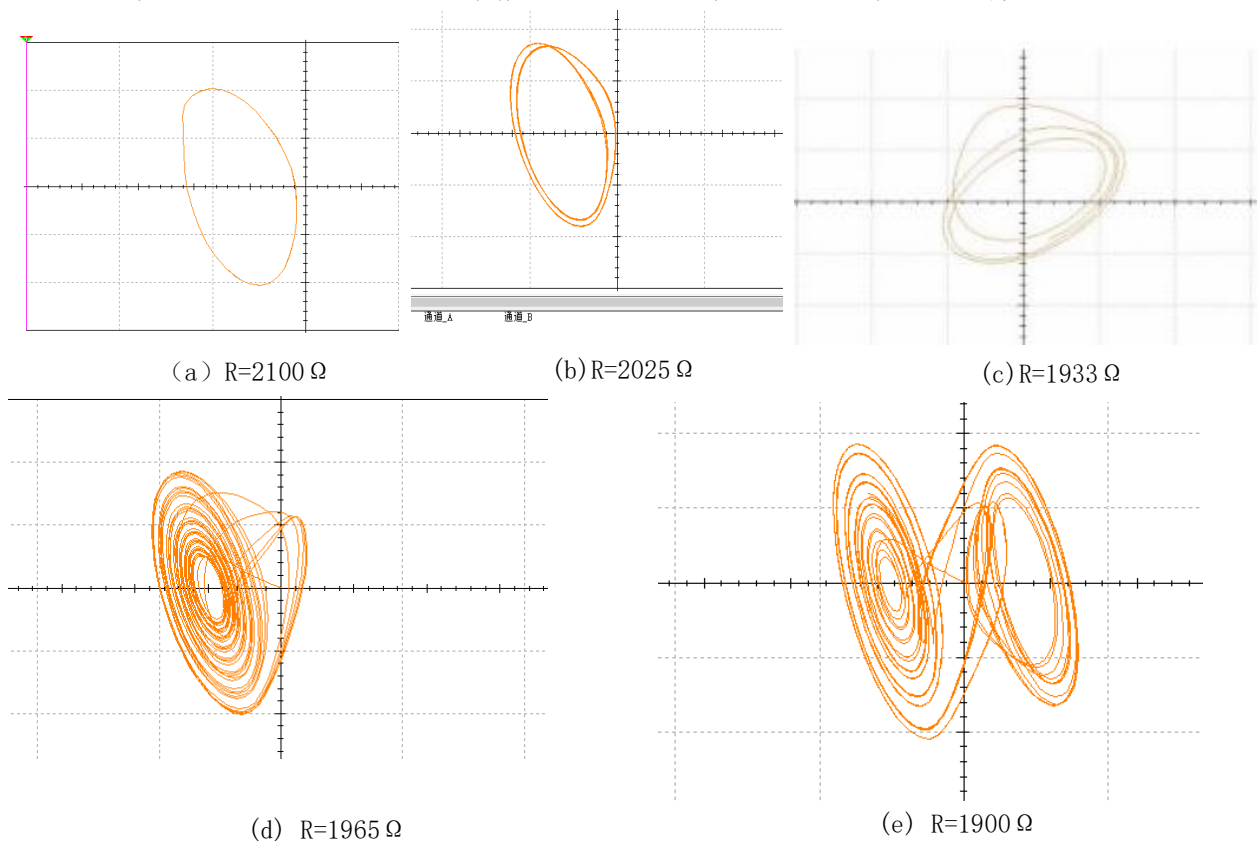


图 9 仿真结果

(2) 具体焊接电路板时所需仪器为焊烙铁, 焊锡丝等, 显示仪器为示波器。

(3) 结果分析: 所设计电路满足任务一要求且可以在单周期相图, 双周期相图, 三周期相图均可放大至 80%。对于超宽带电路, 只能到达 25MHz, 未达到要求, 仍需改进。