

## Colpitts 混沌振荡电路及其功耗

周小燕<sup>1</sup>, 冯 婕<sup>2</sup>

(1. 兰州文理学院 电子信息工程学院, 甘肃 兰州 730010;

2. 兰州城市学院 信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 用 Matlab 对 Colpitts 混沌振荡电路进行模拟和分析. 随着开环增益的增大, 系统逐渐从周期态进入混沌态, 而且吸引子只是单涡卷折叠吸引子. 参照混沌吸引子的性质, 对电路中三极管的功率和其他元件的功率进行了模拟分析, 并计算平均值, 证实了三极管的平均功率为负值, 其绝对值小于 1 W, 并且与电路中其他元件功率总和大小相等, 符号相反.

关键词: Colpitts 混沌电路; 功耗; 数值模拟

中图分类号: O415.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2016)08-0004-04

混沌普遍存在于自然界各种不同的宏观和微观系统中, 与其他学科互相促进、共同发展<sup>[1]</sup>. 各类非线性电路在一定条件下发生复杂的混沌现象<sup>[2-3]</sup>. 蔡氏电路作为典型的混沌电路已为人所熟知, 并屡次被作为混沌特征和应用的研究对象. 除此之外, Colpitts 振荡电路也是一种简单的非线性混沌电路, 其电路实现也相对简单, 与蔡氏电路在电路拓扑结构以及动力学特性上存在相似性<sup>[4]</sup>. 不同的是, 蔡氏电路中的非线性元件是由蔡氏二极管和运算放大器组成的, 而 Colpitts 振荡电路则是采用微波三极管, 因而提高了电路的工作频率, 更适合应用在微波频段的混沌信号发生器方向上. Colpitts 振荡电路已在扩频通信系统、超宽带通信与混沌雷达等领域有着广泛的应用<sup>[5]</sup>, 近年来, 有研究者提出运用纳米材料将混沌信号发生器制作成微型设备植入人体内, 作为人体健康的监控和诊疗装置. 所有的应用都需要考虑信号发生器在工作过程中能量的损耗问题. 目前关于 Colpitts 电路功耗的研究很少. 本文主要研究了在固定电路各参量情况下, 使电路处于某一状态, 模拟分析电路中非线性元件的功耗.

### 1 Colpitts 混沌信号发生器

典型的 Colpitts 振荡电路见图 1<sup>[6]</sup>, 三极管

VT 是电路的增益元件,  $L, R$  及由  $C_1$  和  $C_2$  构成的环路作为分压器从而形成反馈,  $E$  和  $I_0$  分别提供电压和电流偏置. 其中, 电流流向和电压极性均已在图中标出, 非线性元件即为三极管 VT, 流经三极管的电流  $i_c = f(-u_{c_2})$ . 由基尔霍夫定律可知, 电源的总功率等于其余电路元件功率的总和, 其中任一元件的功率均与其他元件功率总和大小相等, 符号相反, 并可得出电路的状态方程为

$$\begin{cases} C_1 \frac{du_{c_1}}{d\tau} = i_L - f(-u_{c_2}), \\ C_2 \frac{du_{c_2}}{d\tau} = i_L - I_0, \\ L \frac{di_L}{d\tau} = E - Ri_L - u_{c_1} - u_{c_2}, \end{cases} \quad (1)$$

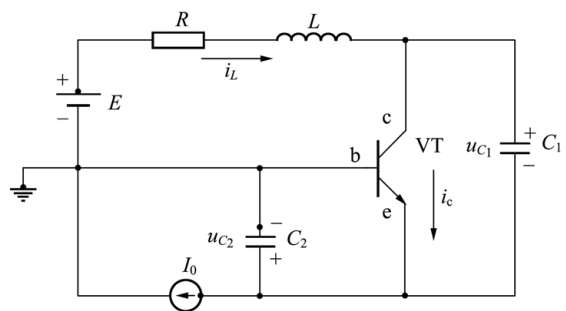


图 1 典型的 Colpitts 振荡电路

收稿日期: 2015-12-30; 修改日期: 2016-04-04

作者简介: 周小燕(1981—), 女, 甘肃静宁人, 兰州文理学院电子信息工程学院讲师, 硕士, 研究方向为理论物理.



其中,唯一的非线性项  $f(u_{c_2}) = f(-u_{be}) = I_s(e^{u_{be}/U_T} - 1) \approx I_s e^{u_{be}/U_T}$ ,  $I_s = 5 \text{ mA}$ . 同时,定义以下变量:

$$\begin{cases} u_{c_1}' = E + f^{-1}(I_0), \\ u_{c_2}' = f^{-1}(I_0), \\ i_L' = I_0. \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $f^{-1}(x) = U_T \ln(x/I_s)$ . 与蔡氏电路相似,方程(1)为三阶自治微分方程. 将状态方程(1)无量纲化为

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{g}{Q(1-k)}[-n(y) + z], \\ \frac{dy}{dt} = \frac{g}{Qk}z, \\ \frac{dz}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g}(x+y) - \frac{1}{Q}z. \end{cases} \quad (3)$$

(3)式中,  $n(y) = e^{-y} - 1$ ,  $x = \frac{1}{U_T}(u_{c_1} - u_{c_1}')$ ,  $y = \frac{1}{U_T}(u_{c_2} - u_{c_2}')$ ,  $z = \frac{1}{I_0}(i_L - i_L')$ ,  $t = \omega \tau$ , 开环增益

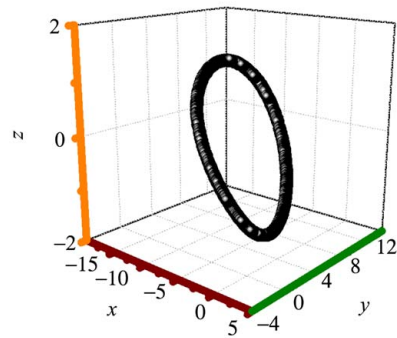
$g = \frac{I_0 L}{U_T R(C_1 + C_2)}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1 C_2}}$ , 定义品质因数

$Q = \frac{\omega L}{R}$ ,  $k = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$ . 由(3)式可以知道,整个电路系统虽然主要有 3 个参量,但是系统的动力学行为仅与  $g$  和  $Q$  有关,其中  $k$  为无量纲比值,只会影响吸引子的空间尺度. 根据上述推导,可以得出在稳定状态下,即  $\dot{x} = \dot{y} = \dot{z} = 0$  时,对应的雅克比矩阵为

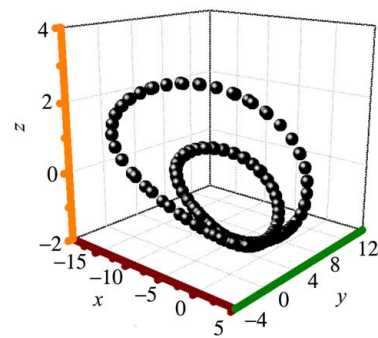
$$J = \begin{pmatrix} 0 & \frac{g}{Q(1-k)} & \frac{g}{Q(1-k)} \\ 0 & 0 & \frac{g}{Qk} \\ -\frac{Qk(1-k)}{g} & -\frac{Qk(1-k)}{g} & -\frac{1}{Q} \end{pmatrix},$$

其特征根方程存在 1 组表示比较复杂的解析解. 但是,若要使系统出现混沌,必须保证存在不稳定平衡点,即(3)式必须满足  $g < 1$ .

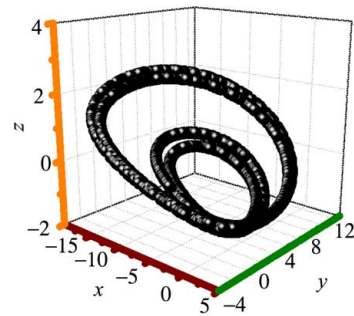
设定电路中各元件的参量为  $R = 36 \Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 470 \text{ nF}$ ,  $L = 1 \text{ mH}$ ,  $E = 12 \text{ mV}$ , 从而得到  $Q = 1.812$ . 在无量纲状态下, Matlab 模拟系统在不同状态下的相图如图 2 所示,分别表示了电路吸引子在固定  $Q = 1.812$ ,  $g$  取不同参量时的输出状态. 图 2(a)表示系统处于 1 周期的状态,其中  $g = 10^{0.2}$ , 此时  $I_0 = 1 \text{ mA}$ ; 图 2(b)和(c)表示发生倍周期分岔后系统处在 2 周期 ( $g = 10^{0.415}$ ,  $I_0 =$



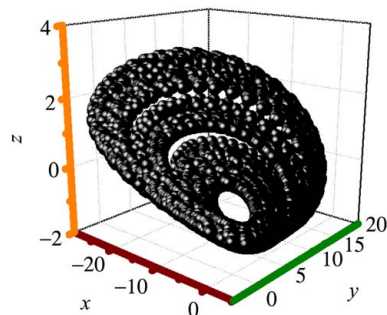
(a) 1 周期



(b) 2 周期



(c) 4 周期



(d) 混沌状态

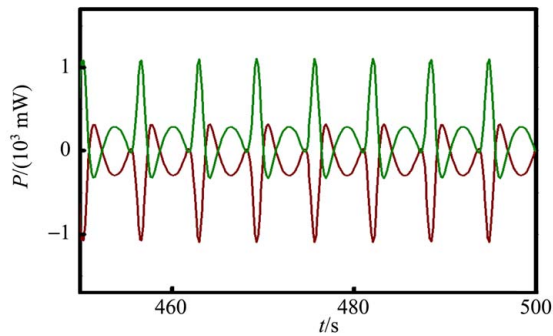
图 2 系统不同状态下的相图

2 mA) 和 4 周期 ( $g=10^{0.425}$ ,  $I_0=2.3$  mA) 的状态; 由图 2(d) 可以看出, 系统从周期状态进入了混沌状态  $g=10^{0.5}$ , 此时,  $I_0=2.8$  mA. 系统随着参量  $g$  的增大, 逐渐从周期态进入混沌态. 系统进入混沌状态后的吸引子只是单涡卷折叠吸引子, 与 Rossler 吸引子相似.

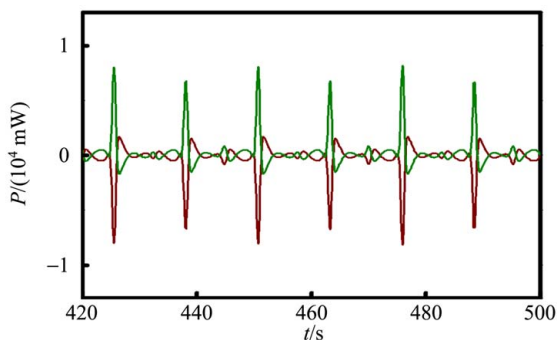
## 2 Colpitts 振荡电路的功耗

与图 2 中采用参量相同, 用 Matlab 模拟还原了系统有量纲状态并代入元件参量之后的非线性元件的功耗曲线, 如图 3 所示. 在此过程中, 由电流源  $I_0$  来控制参量  $g$  的变化. 图中红色曲线表示三极管的功率随时间的变化, 绿色曲线表示电路中其余元件的功率随时间的变化. 由此可以明显看出, 三极管 VT 的平均功率为负值, 与其余元件功率大小相等, 符号相反, 与理论相符.

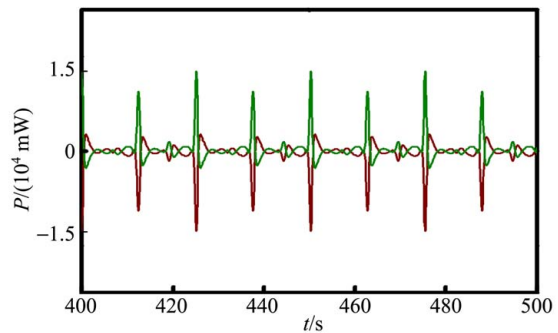
同时, 经过计算可知, 通过无量纲转换后回到带有量纲的状态方程中计算得到在以上 4 种状态下三极管的功率依次是  $-0.200$  W,  $-0.369$  W,  $-0.442$  W 和  $-0.597$  W. 通过计算出的蔡氏电路带量纲功率可以推测, 将实际量纲代入 Colpitts 混沌电路状态方程后, 非线性元件的平均功率在不同状态下均为负值, 从而也证明了非线性



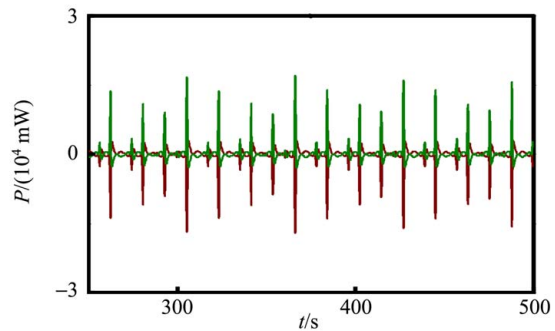
(a) 1 周期



(b) 2 周期



(c) 4 周期



(d) 混沌状态

图 3 Colpitts 混沌振荡电路不同状态下的功耗曲线

元件在混沌电路中具有作为电源为电路或者系统提供能量的作用.

## 3 结束语

Colpitts 混沌振荡电路易实现、功耗相对较低, 可广泛应用于环境嘈杂、长距离高保真传送音频等场合. 改进的四阶甚至更高阶的 Colpitts 混沌电路, 可用来实现电路信号的优化和信号频率的提高. 本文的研究结果在理论上表明, Colpitts 混沌信号发生器也可以作为低功耗的电路系统来实现对自身系统提供能量的设备.

## 参考文献:

- [1] Skiadas C H. Chaotic theory [M]. Hongkong: World Scientific Publishing Company, 2011:7-10.
- [2] 王猛. 混沌控制及其应用[M]. 哈尔滨: 黑龙江科技信息出版社, 2008:25-41.
- [3] 王光瑞, 于熙龄, 陈式刚. 混沌的控制、同步与利用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001:13-27.
- [4] Teng L, Lu H H C, Wang X Y, et al. Chaotic behavior in fractional-order memristor-based simplest chaotic circuit using fourth degree polynomial [J]. Nonlinear Dynamics, 2014, 77(1/2):231-241.

- [5] 包伯成. 混沌电路导论[M]. 北京:科学出版社, 2013:57-69.
- [6] 杨琨,宋耀良. 基于考毕兹振荡器的宽带混沌电路设计[J]. 现代电子技术,2011,34(23):81-84.

## Colpitts chaotic circuit and its power consumption

ZHOU Xiao-yan<sup>1</sup>, FENG Jie<sup>2</sup>

(1. College of Electronic Engineering, Lanzhou University of Arts and Science, Lanzhou 730010, China;

2. School of Information Science and Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The Colpitts chaotic oscillator was simulated and analyzed by using Matlab. With the increase of the open loop gain, the system changed gradually from periodic state into chaotic state, and the attractor was single vortex folding. The power consumption of transistor and other elements were simulated according to the characteristics of chaotic attractor and their average values were obtained. The experimental results indicated that the average power of transistor was negative and less than 1 W. The sign was on the contrary to the total value of other components.

**Key words:** Colpitts chaotic circuit; power consumption; numerical simulation

[责任编辑:任德香]

(上接第 3 页)

- [6] Wang Z L, Song J H. Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays [J]. Science, 2006,312(5771):242-246.
- [7] Yin B, Qiu Y, Zhang H. Q, et al. Piezoelectric effect of 3-D ZnO nanotetrapod [J]. RSC Advances, 2015,5(15):11469-11474.
- [8] Briscoe J, Dunn S. Piezoelectric nanogenerators—a review of nanostructured piezoelectric energy harvesters [J]. Nano Energy, 2015,14:15-29.
- [9] Xi Y, Song J H, Xu S, et al. Growth of ZnO nanotube arrays and nanotube based piezoelectric nanogenerators [J]. Journal of Materials Chemistry, 2009,19(48):9260-9264.
- [10] Yang D C, Song W B, Chen H, et al. Enhanced performance of ZnO piezoelectric nanogenerators by using Au-coated nanowire arrays as top electrode [J]. Physica Status Solidi A, 2015,212(9):2001-2004.
- [11] Kumar B, Lee K Y, Park H K, et al. Controlled growth of semiconducting nanowire, nanowall, and hybrid nanostructures on graphene for piezoelectric nanogenerators [J]. ACS Nano, 2011,5(5):4197-4204.

## Two-dimensional ZnO piezoelectric nanogenerator on flexible substrates

QIU Yu, LIN Tian-yu, ZHAO Yu, WANG Xiao-na, WANG Zhen-zhen

(School of Physics and Optoelectronic Engineering,  
Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Two-dimensional ZnO nanosheets were synthesized on flexible PET-ITO substrates by using two-step aqueous solution. The morphologies, crystal structure and optical properties of samples were characterized by SEM and XRD. A direct-current piezoelectric nanogenerator based on the as-grown ZnO nanosheet was developed. The results showed that the output current of the as-fabricated nanogenerator was related to external strain, and the maximum value reached up to 300 nA, which was enough to drive some micro/nano devices.

**Key words:** two-dimensional ZnO; flexible substrate; nanogenerator [责任编辑:任德香]