

微波 Colpitts 混沌电路在无线传输系统中的应用

魏巍 刘文波 沈 骞

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210000)

摘要: Colpitts 混沌振荡电路由单一的晶体三极管及其它线性元器件构成,是研究及应用非常广泛的三点式振荡电路。Colpitts 混沌振荡电路能够产生各种不同频率的混沌信号,可以应用于无线传输、通信加密、信号检测等多个领域。介绍了两种类型的 Colpitts 混沌振荡器电路,并分析了其电路模型。同时将所产生的混沌振荡信号进行了对比、分析,并将其产生的混沌信号作为无线传输系统的激励信号。此外,互补累积分布函数曲线表明,以改进型的 Colpitts 混沌振荡电路所产生的混沌信号作为激励信号的无线电力传输系统具有更好的整流电路转换效率。最后,这些电路的转换效率的详图已被证明。

关键词: 无线电力传输; Colpitts 混沌振荡电路; 整流电路; 转换效率

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Optimal Colpitts chaotic oscillator for wireless power transmission

Wei Wei Liu Wenbo Shen Qian

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000, China)

Abstract: Colpitts chaotic oscillation circuit is composed of a triode and other linear components. It has a very extensive range of research and application. Colpitts chaotic oscillation circuit can generate a variety of chaotic signals, which can be applied to wireless transmission, communication encryption, signal detection and other fields. In this paper, two types of Colpitts chaotic oscillator circuits are introduced, and their circuit models are analyzed. At the same time, the chaotic signal generated by them is compared and analyzed, and the chaotic signals are used as the excitation signal of the wireless transmission system. In addition, the complementary cumulative distribution function curves show that the optimal Colpitts chaotic oscillation circuit has a preferable conversion efficiency of the rectifier circuit in the wireless power transmission system. Finally, the detailed chart of conversion efficiency of these circuits has been demonstrated.

Keywords: wireless power transmission, Colpitts chaotic oscillator, rectifier circuit, conversion efficiency

1 引言

随着科学技术的不断发展,城市、建筑等也逐渐向智能化的方向发展着,对电子设备能够进行自主运行的需求也日益增加,引起了人们对能够保证电子设备自主运行的无线电力传输系统的兴趣及研究。

在对无线供电系统的研究中,相比于太阳能、磁能、热能以及核能等其他能量的收集,对电磁能量的收集得到了科学家们的广泛关注^[1]。因此,研究基于微波的小型无线供电系统设计有着十分重要的意义^[2]。在小型无线供电系统中,无线供电信号对系统的无线电力传输效率有着很大的影响。选择合适的激励信号将提高整流电路射频到直流(RF to DC)的转换效率,接收信号的峰均功率比(PAPR)越高,整流电路的转换效率就越高^[3]。

2012年,Ana Collado等人将混沌信号应用于无线电力传输,以验证相较于单频信号,混沌信号具有更高的峰均比,可以在无线电力传输系统的整流电路中获得更高的能量转换效率^[4]。目前,国内各个研究院或者高校对微波无线输电的研究都处于起步阶段,且多集中于天线及整流电路的设计,对无线供电波形的优化迫切需要各大高校与研究院所展开积极的研究^[5-6]。

Colpitts 混沌振荡电路由单一的晶体管及其他线性元器件构成,能够产生各种不同频率的混沌信号,可以应用于无线传输、通信加密、信号检测等多个领域。Colpitts 混沌振荡电路结构简单又易于实现,且其产生混沌的非线性器件是晶体三极管,工作频率远高于运算放大器,对产生高频率混沌振荡信号有着极大的优势。这些优点使 Colpitts 混沌振荡电路极具发展前景。

混沌信号也已被证实对于提高无线电力传输的效率具有优化作用^[7]。因此,本文使用 Colpitts 混沌振荡电路来产生混沌信号作为小型无线供电系统的激励信号,以提高无线电力传输系统中整流电路的 RF to DC 的转换效率即无线电力传输效率。对标准型 Colpitts 混沌振荡电路及改进型 Colpitts 混沌振荡电路进行了比较分析,并通过仿真实验证明相比较于标准型 Colpitts 混沌振荡电路,改进型 Colpitts 混沌振荡电路在无线传输系统中有更好的带宽及更高的无线传输效率。

2 Colpitts 混沌振荡电路

蔡氏电路一直是研究电路系统中动态、混沌特性的标准型电路,但因其频谱宽度受到电路中运算放大器的速度限制,产生的混沌信号频谱宽度多在 kHz 数量级,迄今为止有文献报到的最高实验结果约为 100 MHz,且混沌振荡已经很不稳定^[8]。而在 1994 年,爱尔兰学者 Kennedy 教授首次发现 Colpitts 振荡电路可以工作在混沌状态。自此,关于 Colpitts 混沌振荡电路的各种研究逐步展开,Colpitts 混沌振荡电路作为宽带混沌振荡器设计的一个可选方案成为新的研究热点^[9]。

标准型 Colpitts 混沌振荡电路主要由 1 个三极管和动态元件电容电感组成。其中,三极管作为电路中唯一非线性器件,是电路产生混沌振荡的核心,而电容电感则构成谐振网络。其中三极管采用共基极接法,忽略基极电流,可以将其等效为 1 个压控非线性电阻 RE 和 1 个受控电流源 IE。标准型的 Colpitts 混沌振荡电路如图 1 所示。图 2 给

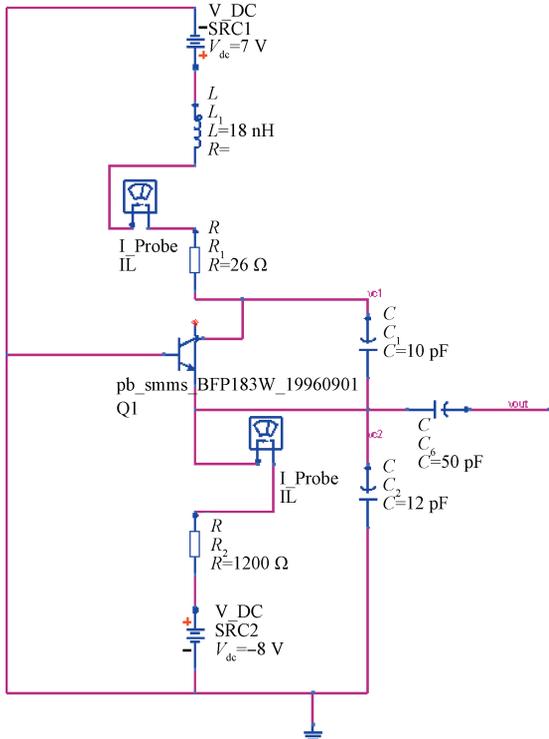


图 1 标准型 Colpitts 混沌振荡电路

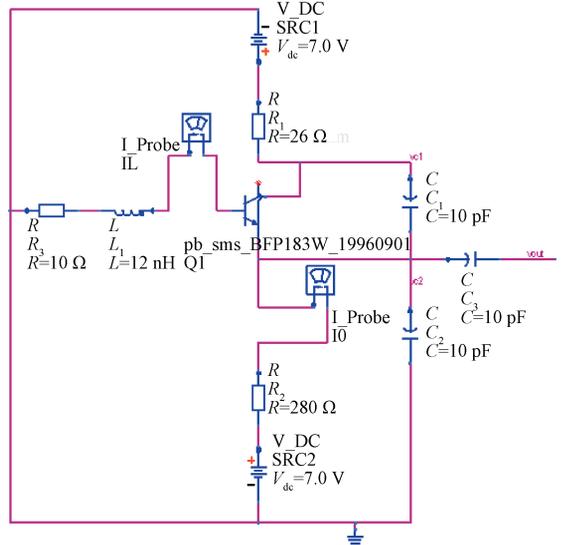


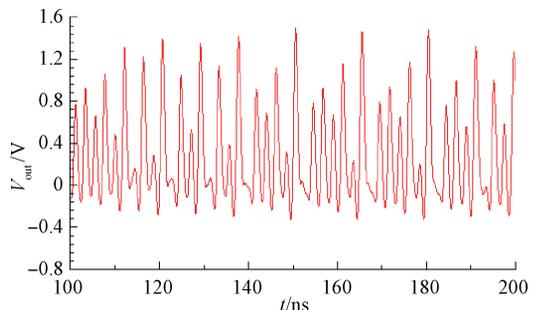
图 2 改进型 Colpitts 混沌振荡电路

出了改进后的 Colpitts 混沌振荡器原理图。如图中所示,电感元件由三极管的集电极移置到三极管基极,同时增加一个电阻与电感串联。电路结构与标准型 Colpitts 混沌振荡电路稍有不同。

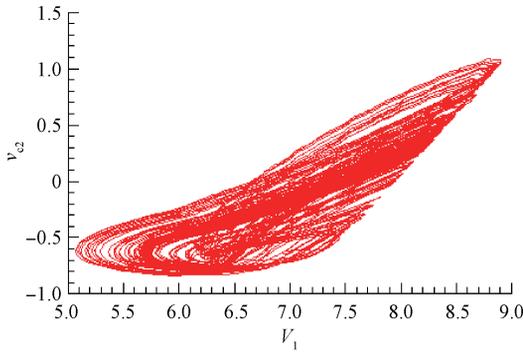
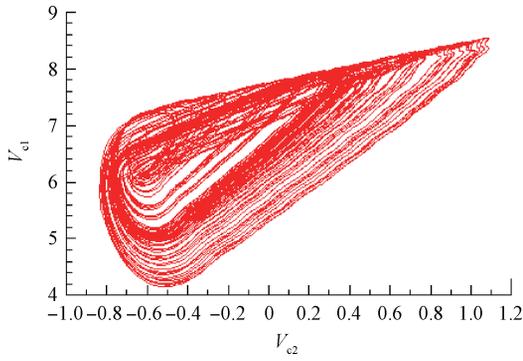
尽管两个电路均采用三极管作为非线性器件,但改进前的 Colpitts 混沌振荡电路是标准型的共基极电路,而改进后的电路不再属于有公共节点的电路,电路结构不同。更重要的是,标准型 Colpitts 混沌振荡器由于三极管基极与集电极之间的寄生电容 C_{CB} 的影响(高频信号接地),混沌振荡频率难以提高,电路改进后,三极管基极与地之间增加了电感和电阻元件,高频时寄生电容 C_{CB} 被隔离了,因此电路的混沌振荡没有受到影响,从而可以得到更高的混沌振荡频率。

本文使用了 BFP183W 型号的三极管进行仿真,选取的元器件参数值如图 1、图 2 所示。标准型 Colpitts 混沌振荡信号的时域图、相图、频谱图如图 3 所示。改进型 Colpitts 混沌振荡信号的时域图、相图、频谱图如图 4 所示。

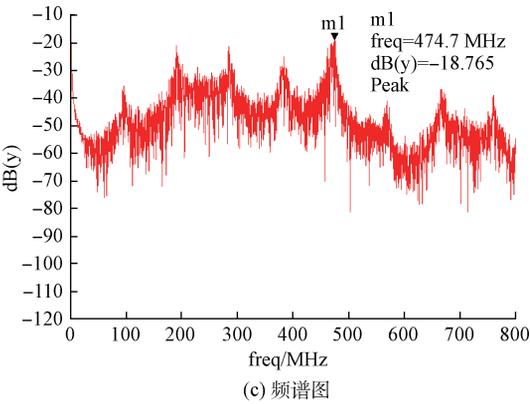
由频谱图比较可知,虽然标准型 Colpitts 混沌振荡信号在中心频率处的分贝值很高,但在除中心频率外也有几



(a) 时域图



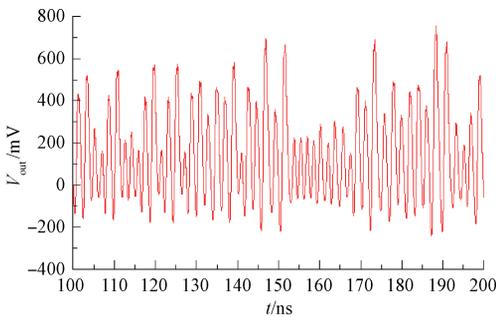
(b) 相图



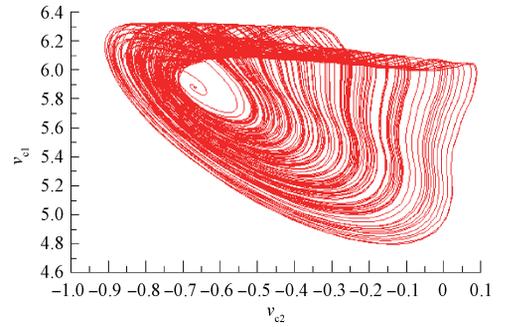
(c) 频谱图

图 3 标准型 Colpitts 混沌振荡电路的时域图、相图及频谱图

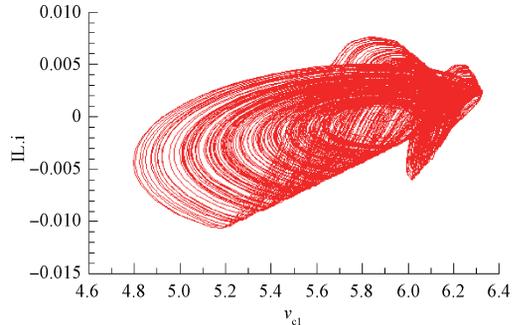
个小尖峰,不利于提高无线电力传输的效率。而改进型 Colpitts 混沌振荡信号在中心频率处分贝值和标准型



(a) 时域图



(b) 相图



(c) 频谱图

图 4 改进型 Colpitts 混沌振荡电路的时域图、相图及频谱图

Colpitts 混沌振荡信号差不多,同时中心频率附近的分贝值下降缓慢,频带很宽,有利于提高无线电力传输的效率。

3 整流电路

为了证实混沌信号对于提高电磁能量采集以及无线电力传输的效率具有优化作用,实验所需的整流电路如图 5 所示^[10]。混沌振荡电路产生的激励信号源 v_{out} 经过发射天

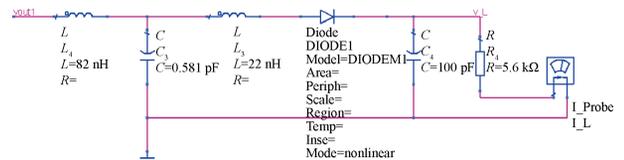


图 5 整流电路

线发射,由接收天线接收至整流电路。整流器电路匹配到 $50\ \Omega$ 的负载通过 1 个 T 型匹配网络。射频到直流转换效率的整流器进行了优化,以最大限度地约 450 MHz 的谐波平衡模拟。

4 无线电力传输系统的转换效率

将 433 MHz 的单频信号以及中心频率在 433 MHz 左右的标准型 Colpitts 混沌振荡电路和改进型 Colpitts 混沌振荡电路所产生的混沌信号作为无线传输系统的激励信号,以此证实混沌信号对于提高无线电力传输的效率具有优化作用。

功率互补累积分布函数($pCCDF$)的测量是在 2G 和 3G 的无线信号进行非常常见的测量。 $pCCDF$ 曲线表明了包络信号的 $PAPR$ 超过一定的阈值 γ 的概率。 $pCCDF$ 曲线中 γ 的最大值表示的包络信号的最大 $PAPR$ 。信号的最大 $PAPR$ 可以通过将包络信号的最大 $PAPR$ 增加 3 dB 来获得^[11]。图 6 是标准型 Colpitts 混沌振荡信号(实线)和改进型 Colpitts 混沌振荡信号(虚线)的 $pCCDF$ 曲线。

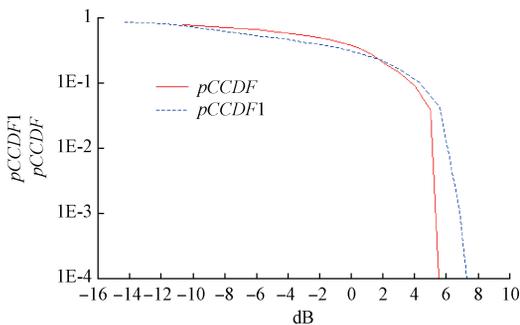


图 6 标准型及改进型 Colpitts 混沌信号的 $pCCDF$ 曲线

由 $pCCDF$ 曲线可以看出,在 2 dB 之前,标准型 Colpitts 混沌信号的 $pCCDF$ 值略高于改进型。在 2 dB 之后,标准型 Colpitts 混沌信号的 $pCCDF$ 值却逐渐低于改进型。当各个信号的包络信号的 $PAPR$ 超出一定阈值的概率为 $1E-4$ 时,所对应的阈值即为包络信号的 $PAPR$ 值,增加 3 dB 即得到各个信号的 $PAPR$ 值。从图中可以看出,标准型 Colpitts 混沌振荡信号的 $PAPR$ 值为 5.6 dB,改进型 Colpitts 混沌振荡信号的 $PAPR$ 值为 7.3 dB。实验结果证明,相比于标准型,改进型 Colpitts 混沌信号具有更高的 $PAPR$ 。

电磁能量的收集也就是无线电力传输基于接收的射频信号转化为直流电源(RF to DC)的转换效率。图 7 比较了标准型及改进型 Colpitts 混沌振荡电路在不同输入功率下的转换效率。从图 7 比较可知,相比于标准型 Colpitts 混沌信号,改进型混沌振荡信号有更高的无线传

输整流转换效率。

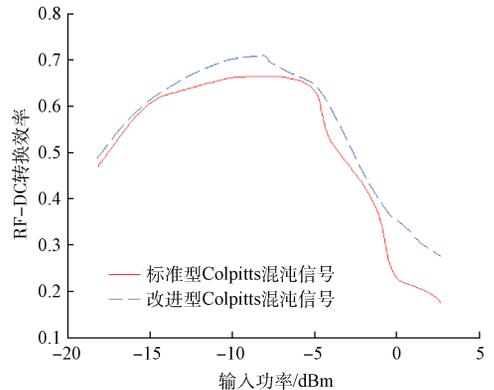


图 7 标准型及改进型 Colpitts 混沌信号的整流转换效率

5 结 论

本文从时域图、相图、频谱图三方面比较了两种 Colpitts 混沌振荡信号。通过实验,论证了相比于标准型,改进型 Colpitts 混沌振荡电路具有更好的混沌特性。另外,还使用了两种 Colpitts 振荡电路产生的混沌信号作为小型微波无线传输系统的激励信号,并进行实验仿真,从 $pCCDF$ 曲线以及 RF to DC 整流转换效率两个方面对无线传输效果进行了对比分析。通过实验论证,高 $PAPR$ 的混沌信号作为无线传输系统的激励信号能够得到更高的整流转换效率,相比于标准型 Colpitts 混沌振荡信号,以改进型 Colpitts 混沌振荡信号作为激励信号能够获得更好的无线传输性能。

参考文献

- [1] 曾翔. 无线电力传输技术研究[J]. 硅谷, 2010(10): 82-162.
- [2] LING K. 射频/微波及 ATE 系统的应用、挑战与解决方案[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(6): 22-32.
- [3] BOAVENTURA A S, CARVALHO N B. Maximizing DC power in energy harvesting circuits using multisine excitation[C]. 2011.
- [4] MEGHERBI O, GUERMAH S, HAMICHE H, et al. A novel transmission scheme based on impulsive synchronization of two Colpitts chaotic systems[C]. International Conference on Systems & Control, 2013:117-122.
- [5] 韩晓坤,全卫国,宋凯兵. 电磁谐振式的无线充电系统实验研究[J]. 仪器仪表用户, 2015(4): 26-28.
- [6] 吕红芳,张浩. 链首节点轮换的无线传感器网络路由算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(7): 610-616.

(下转第 27 页)