第 13 卷 第 4 期
2001 年 7 月

强 激 光 与 粒 子 束
HIGH POWER LASER AND PARTICLE BEAMS

Vol. 13, No. 4
Jul., 2001

文章编号:1001-4322(2001)04-0475-04

EMR 对混沌同步保密通信系统干扰的初步研究①

刘长军, 黄卡玛, 胡仲霞, 陈 倩, 郭忠海, 王文轲

(四川大学 电子信息学院,四川 成都 610064)

摘 要: 使用 GTEM cell 实验系统,研究了连续波电磁辐射对基于混沌同步理论的保密通信系统的电磁干扰。混沌保密通信系统采用由典型的 Chua 氏混沌电路构造混沌同步系统,采用掩盖法对模拟信号进行加密传输。实验发现:在 100MHz~150MHz 的频率范围内,超过一定功率密度的电磁辐射会导致系统的混沌加密功能失效,此后即使停止电磁辐射,系统仍无法自行恢复到混沌加密状态。

关键词: 电磁干扰;保密通信;混沌同步

中图分类号:TN918 **文献标识码**:A

随着通信技术的不断发展,人们越来越关注信息安全和可靠地传输,要求通信具有越来越高的保密性和安全性。新型的保密通信理论和技术受到人们的关注。由于混沌信号具有的非周期、连续非对称宽带频谱、似噪声等特性,具有良好的遍历性和非周期性,特别适合于保密通信。混沌系统本身结构简单特性丰富,所以混沌保密通信得到了众多研究者们的重视。目前,混沌保密通信中多采用基于混沌同步理论的保密通信系统。此类混沌同步保密通信系统的研究主要集中在保密性能的提高、电路的改进、元器件参数不匹配和白噪声对保密系统的影响等等[1~3],而有关电磁辐射对系统干扰的研究非常少。在电磁辐射的干扰下,混沌同步保密通信系统的保密特性和稳定性都需要进行研究分析。本文针对单频电磁辐射对此类保密通信系统特性影响进行了初步实验研究。

1 基本理论

利用混沌信号进行保密通信时,系统同步是关键问题。但是由于混沌系统对初值极为敏感,两个相同的混沌系统初值有微小的差异,经过一定的时间后就能形成完全不相关的信号,导致收发双方不能同步,解密输出结果将不正确。因此,混沌的同步问题限制了混沌在保密通信中的应用。1990 年,Pecora 和 Carroll 提出了混沌控制和同步的概念[4],奠定了混沌保密通信的理论基础。该理论表明:在一定条件下,一个混沌系统的输出信号可以驱动另一个子系统,使子系统达到相同的状态。这使混沌理论实际应用于保密通信系统成为可能,继而该理论在电路实验中得到了证明。最为著名的混沌电路是 Lorenz 系统和 Chua 氏电路,它们都具有这种同步特性。

在这些混沌电路的基础上,研究者们利用混沌同步的原理设计了一些保密通信方式,例如混沌掩盖保密传输、混沌调制扩频通信、混沌频率调制通信、数字调制信息传输等等[5,6]。这些基于混沌同步理论的方法都具有共同的特征。混沌掩盖保密通信系统结构相对简单而应用广泛,所以本文选择混沌掩盖保密通信系统,研究其在单频电磁辐射下的系统特性。采用 Chua 氏混沌电路构建混沌同步保密通信系统,电路结构如图 1 所示。该 Chua 氏电路满足的微分方程为

$$\left.\begin{aligned}\frac{dV_{C1}}{dt} &= \frac{1}{C_1}[G(V_{C2}-V_{C1})-f(V_{C1})]\\ \frac{dV_{C2}}{dt} &= \frac{1}{C_2}[G(V_{C1}-V_{C2})+i]\\ \frac{di}{dt} &= \frac{1}{L}[-i]\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

① **收稿日期**:2000-09-14; **修订日期**:2000-04-18
基金项目:国家 863 激光技术领域青年基金(98-04)资助课题
作者简介:刘长军(1973-),男,博士,副教授,主要从事微波理论技术和计算电磁学等方面的研究工作;Email:cjliu-cn@yahoo.com 或 cjliu@21cn.edu.cn

中国知网 https://www.cnki.net

式中:$f(V_1)$ 为非线性元件的特性,满足

$$f(V_1) = G_b V_1 + (G_a - G_b)\frac{(|V_1 + E| - |V_1 - E|)}{2} \quad (2)$$

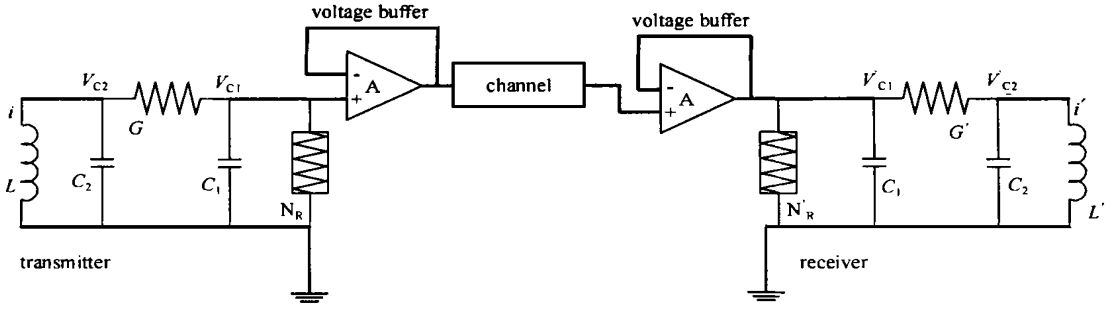

Fig. 1 Chaotic synchronization secure communication system based on Chua's circuit

图 1 基于蔡氏电路的混沌同步保密通信系统示意图

采用参数:$C_1 = 5.56\text{nF}$, $C_2 = 50\text{nF}$, $G = 0.7\text{mG}$, $L = 7.14\text{mH}$, $G_a = -0.8\text{mS}$, $G_b = -0.5\text{mS}$, $E = 1\text{V}$,对方程(1)通过显式欧拉法进行数值求解,求得 V_{C1} 和 V_{C2} 随时间的变化数值解。图 2(a) 为 V_{C1} 随时间的变化;图 2(b) 为由 V_{C1} 和 V_{C2} 形成的混沌吸引子。改变电路的参数可以了解电路特性的变化。对于加密和解密系统的数值模拟求解也得到良好的结果,但是实际系统的特性及其抗干扰性能都需要进行实验研究。

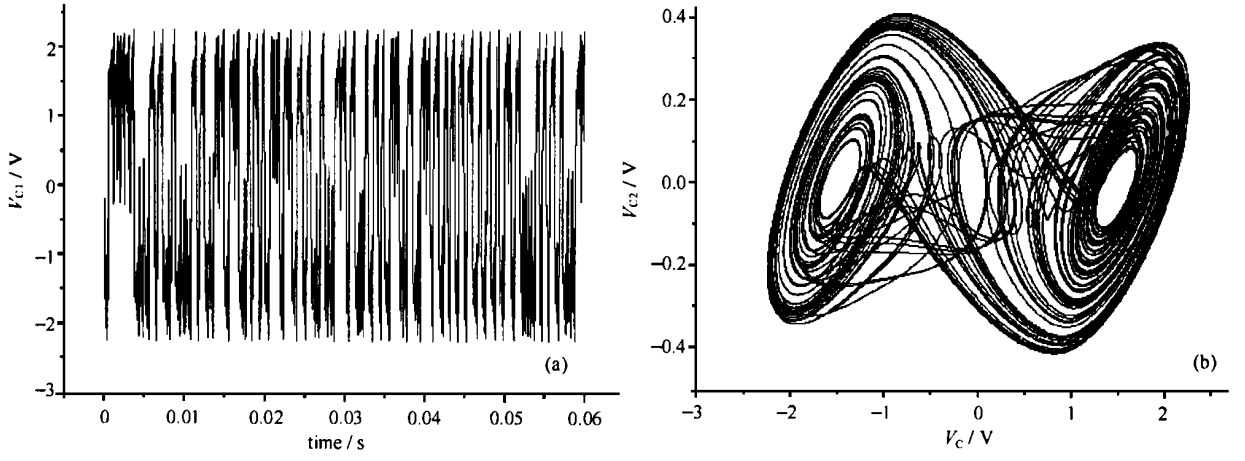

Fig. 2 (a) V_{C1}'s variation as a function of time; (b) Chaotic attractors formed by V_{C1} and V_{C2}

图 2 (a) V_{C1} 随时间的变化;(b) 由 V_{C1} 和 V_{C2} 形成的混沌吸引子

2 实验系统及实验结果

参照图 1 构建基于 Chua 氏混沌电路的混沌同步保密通信系统,具体的电路参考文献[7]。用 V_{C1} 和 V_{C2} 作为示波器的 x 和 y 输入信号,则在示波器上观测到两个混沌吸引子,如图 3 所示。用两个混沌系统中的电压 V_{C2} 和 V_{C2}' 作为示波器的 x 和 y 输入信号,通过示波器可以观测两个混沌信号是否达到同步。当两个混沌系统同步时,示波器上将显示为一条细线,如图 4 所示;当未达到同步时,则为一条很宽的亮带。可见数值模拟的结果与实验观测到的信号基本一致。

采用自行设计的 GTEM cell(超宽频带横电磁传输室) 构建电磁干扰辐射测试系统,系统框图如图 5 所示。GTEM cell 传输频率范围 0～18GHz,具体结构和特性可以参考文献[8]。GTEM cell 的输入端接 XG22A 超高频功率信号发生器,输出端接匹配负载。通过使用 GH2461 功率计测量输入信号的功率。XG22A 可以在 10MHz～300MHz 的范围内产生 10W 内可调的功率输出。将加密发射模块和接收解密模块放入 GTEM cell 中接受电磁辐射,改变单频电磁辐射的功率和频率,通过示波器观测两个混沌系统的同步状态。

中国知网 https://www.cnki.net

图 6 所示为电磁辐射频率为 120MHz 时,同步线的展宽和输入功率之间的关系。图 7 所示为同步线

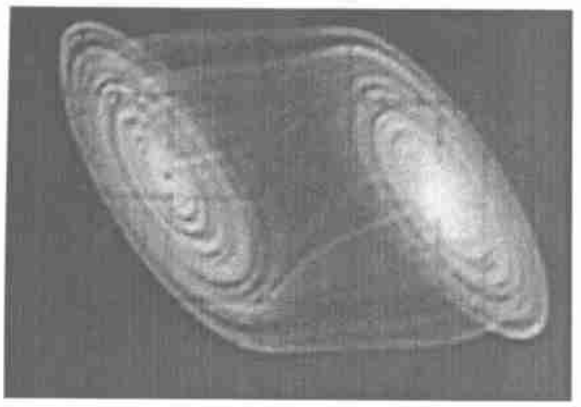

Fig. 3　Chaos attractors (V_{C1} and V_{C2})

图 3　混沌吸引子(电压为 V_{C1} 和 V_{C2})

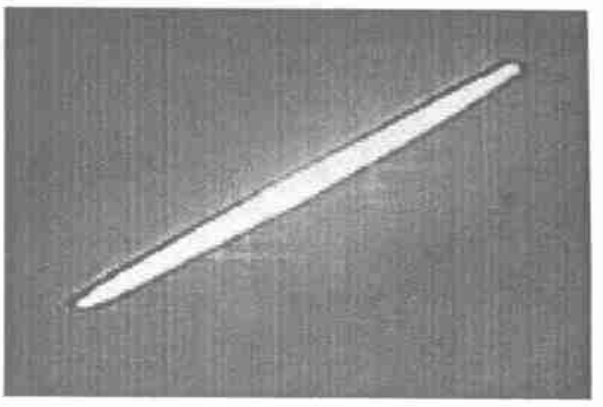

Fig. 4　Synchronization (V_{C2} and $V_{C\acute{2}}$)

图 4　混沌同步(电压为 V_{C2} 和 $V_{C\acute{2}}$)

展宽在示波器上的显示。随着输入功率的增加，同步线的展宽愈大，两个混沌系统的状态差异也愈大，加密信号将不能被解密。在这种情况下，一旦电磁干扰辐射停止，混沌同步保密通信系统立刻恢复正常——输入信号再次可以得到加密，解密电路也迅速恢复同步状态。

然而在一定的频率范围内，随着电磁干扰辐射功率的增加，混沌电路的状态会发生突变。由于电磁辐射的诱导作用，混沌电路由

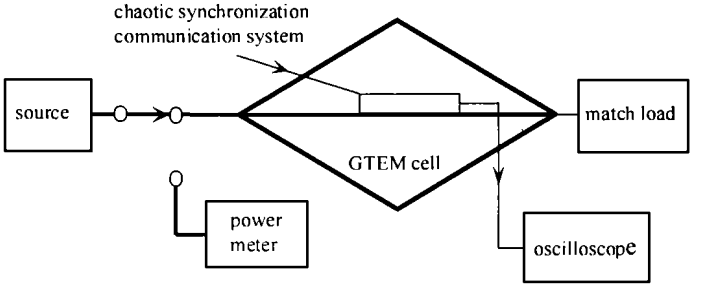

Fig. 5　Electromagnetic interference experimental system

图 5　电磁辐射干扰测试实验系统

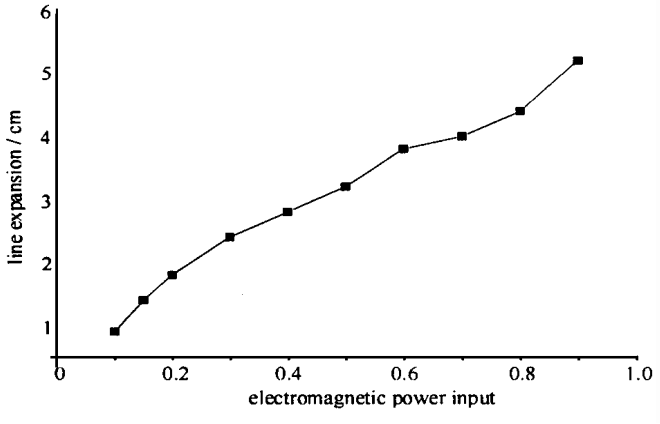

Fig. 6　Synchronization line's expansion due to EMI input

图 6　随输入电磁辐射功率的增加同步线展宽

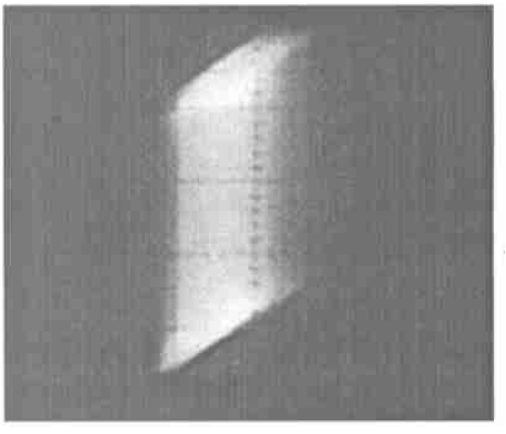

Fig. 7　Expansion of the synchronization line

图 7　电磁干扰辐射下同步线的展宽

通常的双吸引子混沌状态进入单环稳定状态，V_{C2} 将做重复的周期性变化。这时加密模块输出的加密信号将成为调幅波，失去了混沌加密的功能。一旦混沌电路进入这种稳定状态，即使取消电磁辐射的干扰，系统也无法自行恢复到双吸引子的混沌状态。只有将系统电源切断，重新复位启动系统，混沌电路才能进入双吸引子混沌状态。图 8 为 100MHz～150MHz 实验测量得到的电磁辐射功率密度相对阈值和电磁干扰辐射频率之间的关系，而在这一频率范围之外没有观测到阈值现象。多次重复本实验，均可以观察到在一定频率范围内存在功率阈值的现象，只是频率范围和功率阈值有所变化，可能与电路结构、在 GTEM cell 中的相对位置等一些因素有关，有待进一步的实验研究。

3　讨论

中国知网　https://www.cnki.net

实验发现在 100MHz～150MHz 频率范围内，对 Chua 氏混沌同步保密通信系统的电磁干扰存在功率密度阈值，导致系统不能自行恢复到正常工作状态。所以在设计混沌同步保密通信系统时，需要注意电路受到电磁干扰后自行恢复的问题，提高系统抗干扰性能。

由于频率范围和功率密度阈值与系统一些因素有关，所以如果使用宽频带的高功率脉冲辐射，有望通过频率覆盖的方法实现对不确定混沌同步保密通信系统的干扰，使混沌同步保密通信系统的加密功能受到影响。在这些方面都需要进行进一步的实验研究和理论分析，以及相关的数值计算模拟。

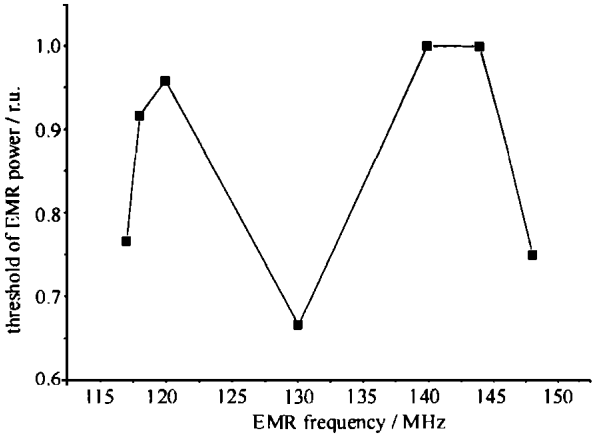

Fig.8 Threshold of input EMR density at different frequency

图 8 不同电磁辐射输入频率下功率密度阈值的相对值

参考文献：

[1] Yang T, Wu C W, Chua L O. Cryptography based on chaotic systems[J]. *IEEE Ttrans circuits Sys*-I, 1997, **44**(5):469－472.

[2] Itoh M, Murakami H. New communication systems via chaotic synchronizations and modulations[J]. *IEICE Trans Fund*, 1995, **E78**-**A**(3):285－290.

[3] Kocatrev L M, Stojanvski T D. On chaotic synchronizaion and secure communications[J]. *IEICE Trans Fund*, 1995, **E78**-**A**(9): 1142－1147.

[4] Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in chaotic circuits[J]. *Phys Rev Lett*, 1990, **64**(8):821－824.

[5] 赵思真，赵思正. 混沌同步及其在保密通信中的应用[J]. 通信保密，1997，(1):1－7.(Zhao S Z, Zhao S Z. Chaotic synchronization and its application in secure communication. *Secure Communication*, 1997, (1):1－7)

[6] Yang T, Chua L O. Secure communication via chaotic parameter modulation[J]. *IEEE Trans Circuits Syst*-I, 1996, **43**(9):817－819.

[7] Corron N J, Hahs D W. A new approach to communications using chaotic signals[J]. *IEEE Trans Circuits Syst*-I, 1997, **44**(5): 373－382.

[8] Huang Kama, Liu Yongqing. A simple method for calculating electric and magnetic field in GTEM cell[J]. *IEEE Trans EMC*, 1994, **36**(4):335－336.

Preliminary study on the interference of EMR to chaotic synchronous secure communication system

LIU Chang-jun, HUANG Ka-ma, HU Zhong-xia, CHEN Qian, GUO Zhong-hai, WANG Wen-ke

(*Electronic Information College, Sichuan University, Chendu* 610064, *China*)

Abstract: A giga-hertz transverse electromagnetic cell (GTEM cell) was used to study the interference of continuous electromagnetic waves on a chaotic synchronous secure communication system, which was based on the typical Chua's chaotic circuits. During the experiments, it was found that within the frequency range of 100－150MHz there were some thresholds of the electromagnetic radiation (EMR) power density to a certain chaotic secure communication system. If the EMR power density is great than the threshold in this frequency range, the chaotic encrypt function of the secure communication system would be ineffective. Moreover, the chaotic synchronous secure communication system could not recover from the ineffective state to chaotic synchronous state automatically even after the EMR was removed. This is an important problem on chaotic synchronous secure communication system.

Key words: electromagnetic interference; secure communication; chaotic synchronization

中国知网 https://www.cnki.net