

混沌保密通信实验

材料物理 07300300041 环静

摘要

本文介绍一种基于蔡氏电路的混沌覆盖保密通信手段。先利用 OrCAD 软件设计电原理图并进行模拟验证，然后进行硬件实验验证，并研究不同因素对信号传输质量和保密效果的影响。

关键词：非线性 蔡氏电路 混沌覆盖 保密通信

引言

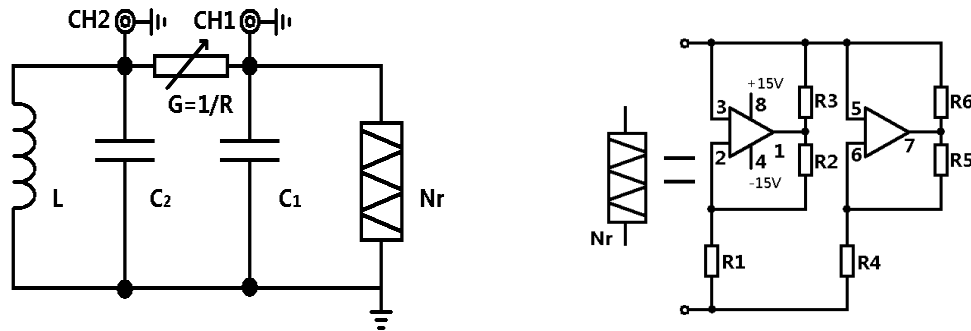
混沌现象是确定论系统中所表现的随机行为的总称，它的根源在于非线性相互作用。其最显著的两个特点是对初值极度敏感和长期的不可预测性。现今随着电路中高精度电子器件使用的增多，电路中不可避免地出现了大量用原有线性电路理论无法解释的非线性现象。于是产生了非线性电路理论，随即兴起了对非线性电路中混沌现象的研究。

电路中的混沌现象有利有弊。它会在电路中产生一些我们不想要的噪音信号，而且是我们所无法控制的。但是我们也可以对混沌现象的各种性质进行应用。其中一个就是利用混沌现象进行保密通信。

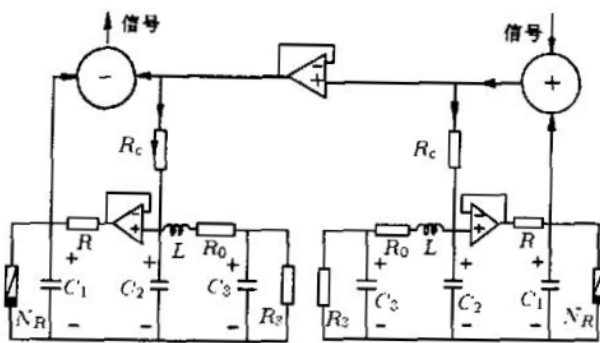
当今三大混沌保密通信技术是混沌键控、混沌覆盖和混沌编码。其中混沌覆盖是我们实验主要的研究对象，它是利用两个同步的混沌电路分别作为驱动系统和相应系统，在信号发射端将混沌信号叠加到我们要传输的有用信号上，而在接收端利用同步混沌电路和减法器进行解密，还原有用信号。如果中途有第三方截获了我们的信号，那得到的也只是混沌信号与有用信号的叠加，混沌信号的非周期，宽频谱，类噪音和不可预测性的特点使第三方很难还原我们的有用信号，从而实现了保密通信。

实验原理

蔡氏电路是当今最简单的混沌电路，其电原理图如下左图所示，由一个电感，两个电容，一个可变电阻和一个蔡氏二极管 Nr 构成。蔡氏二极管 Nr 是一个分段直线式非线性电阻，具有负阻特性，由运算放大器构成，如下右图所示。

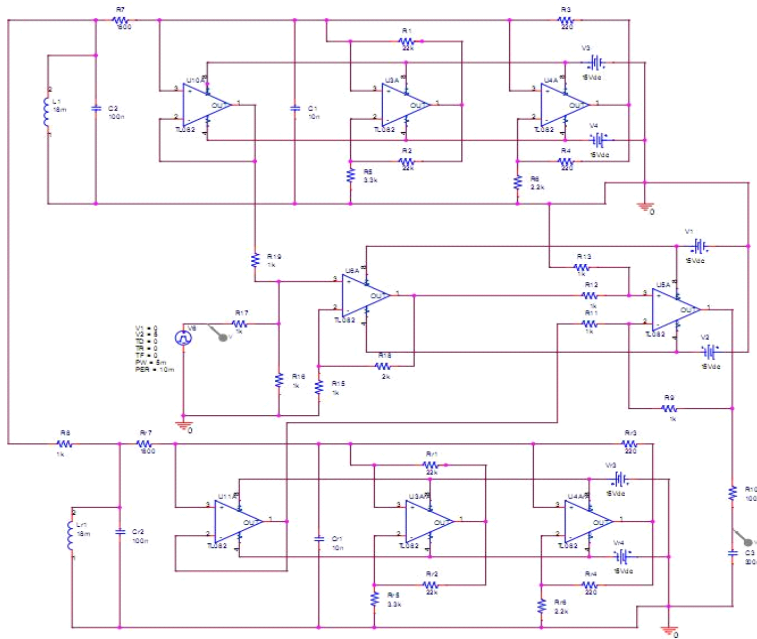


实现混沌保密通信的前提就是驱动系统和响应系统的混沌同步，同步质量的好坏直接影响着信号传输质量的好坏。将两个蔡氏电路的相同输出端（即 CH1 或 CH2）用同步线相连即可产生同步信号。再在信号发射端通过加法器将混沌信号与有用信号进行叠加，叠加后的信号通过数据线传输。在接收端用减法器对信号进行解密。为了提高信号传输质量，可以在驱动系统与响应系统之间接一个单向器，以防响应系统对驱动系统产生影响。示意图如下：

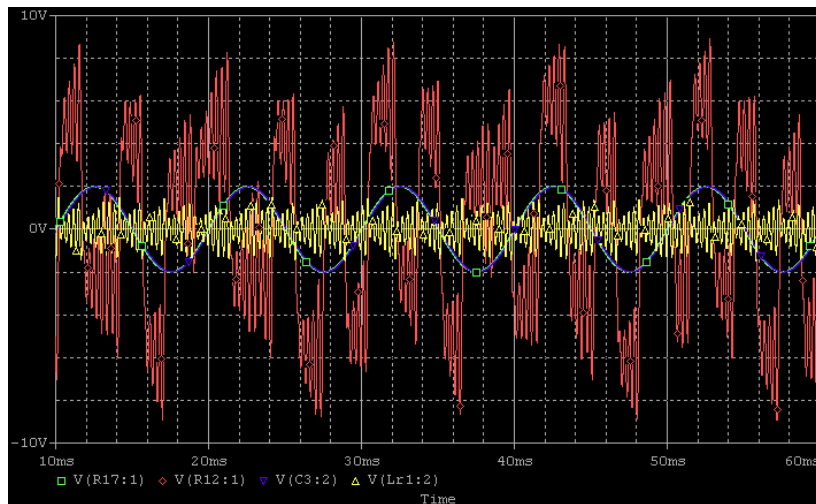


软件模拟和仿真验证

利用 OrCAD 软件设计具有上述功能的电路，如下图所示



对其进行仿真验证，得到结果如下下图（使用 50Hz 正弦波信号作为信号源）：

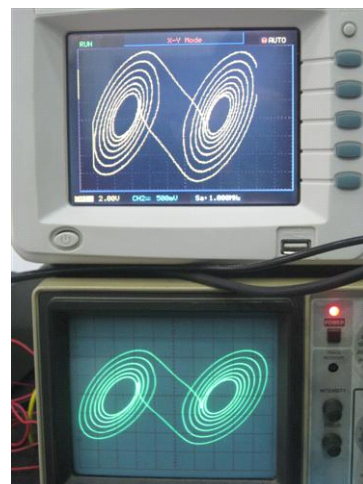
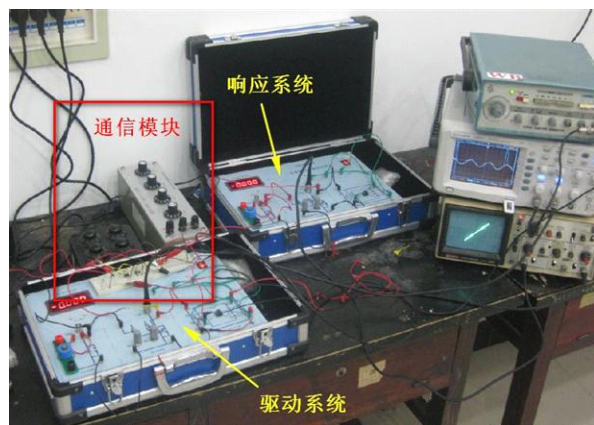


对其信号传输质量和保密效果进行分析，可以看出，经过混沌信号（图中黄色信号）叠加后的有用信号（图中红色信号）已经完全失去了原来的形状，即使在中途被第三方截获，也很难被破译。而在接收端通过减法器 and 同步电路解密后的信号（图中绿色信号）和我们传输的有用信号（图中蓝色信号）还是吻合得相当好的。

硬件实验

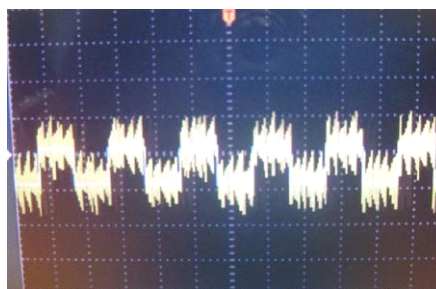
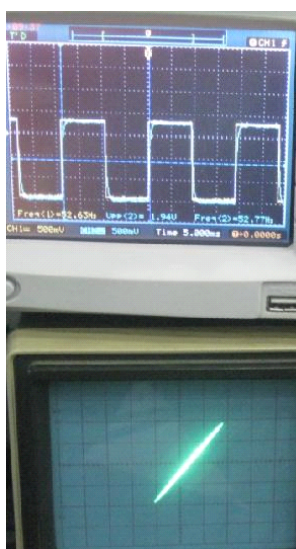
软件模拟和仿真验证证明了这种混沌覆盖保密通信方案从原理上来说是可行的。接下来就要进行硬件实验。按照用 OrCAD 设计的电原理图，在面包板上用运算放大器和电容电阻

连接实际电路的通信模块。由于只是一个原理性的验证试验，可以在发射端用信号发生器提供的信号代替实际的语音信号（若要真的实现通信只要把语音信号通过 AD 转换器转换为数字信号），在接收端用示波器显示输出波形。硬件设备图如下左：



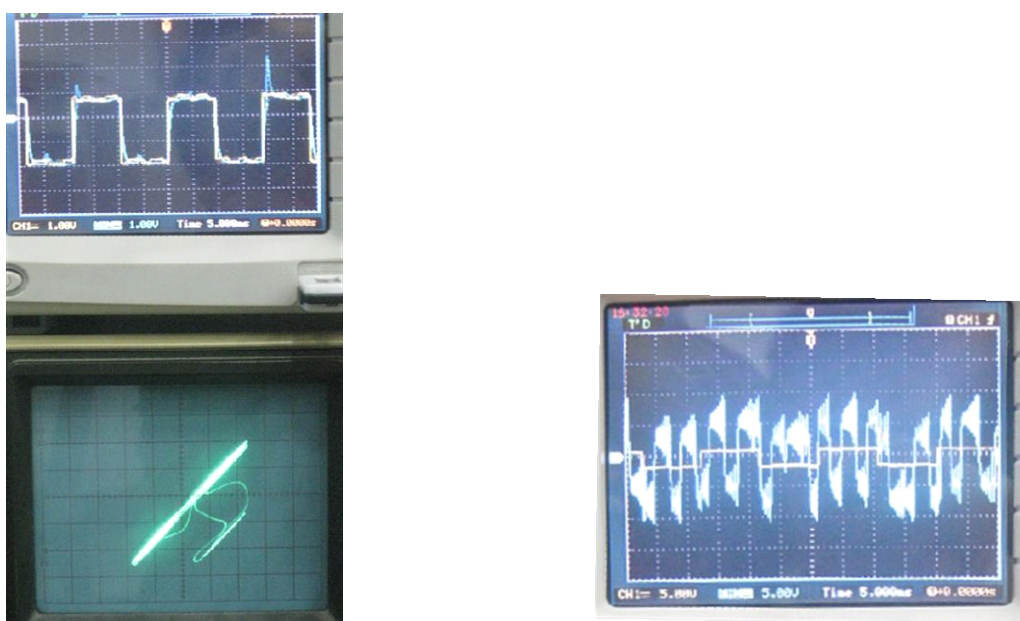
首先实现两个系统的同步。将驱动系统和响应系统的两个蔡氏电路分别调至稳定的双吸引子状态，如上右图所示。然后将它们的相同输出端作为同步端，用同步线相连，即可实现两电路的同步。然后将蔡氏电路的另外一个输出端作为混沌覆盖端，将混沌信号叠加到要传输的有用信号上。通过实验，我们发现，由于蔡氏电路的两个输出端 CH1 和 CH2 的输出信号强度是不一样的，CH1 端输出信号强而 CH2 端输出信号弱。那么把不同的输出端作为同步端，虽然都能实现混沌覆盖保密通信，但其产生的效果是有差别的。

若以较强的 CH1 端作为同步端，则同步信号比较强，同样的干扰对其影响就相对较小，故同步质量比较好，信号传输质量比较好；而覆盖端 CH2 信号强度比较小，覆盖效果就较差，即保密效果比较差。结果如下图所示：



上图中左图为同步效果，右图为覆盖效果。可以看出，接收端收到的信号除了上升下降沿有些许滞后外，与原信号还是符合得相当好的，也没有很多的毛疵，而且同步相图也是一条稳定的 45 度直线；而右边虽然混沌信号已经叠加到了方波信号上，但由于覆盖端 CH2 信号强度比较小，所以混沌信号并未能完全掩盖住方波信号。如果此信号被第三方中途截获，则很容易被破译成方波信号。即信号传输质量好而保密性能差。

若将比较弱的 CH2 作为同步端，则同步效果比较差，信号传输质量比较差；但覆盖端 CH1 强度比较大，覆盖效果好，即保密效果好。结果如下图：



明显可以看出此时效果与上次不同。接收端接收到的信号虽然还是方波，但质量已大不如前，有了很多毛疵。同步相图也是在 45 度直线的基础上有了比较不稳定的偏差；但是覆盖的效果比较好。由于覆盖端信号比较强，混沌信号完全掩盖了方波信号。虽然混沌信号仍然有高低波动，但其波动频率与方波频率已完全无关。若此时信号被第三方中途截获，是很难被破译出来的。即牺牲了信号传输质量而获得了较好的保密效果。

可见，一旦蔡氏电路参数一定，信号传输质量和保密效果是很难兼顾的。要解决这个问题，一方面可以改善蔡氏电路中的参数和蔡氏二极管性能，另一方面可以用放大电路将混沌信号放大，再叠加到要传输的信号上，或者减小传输信号的强度。

当然，这只是对混沌覆盖的一个原理和可行性的验证实验。若真要实现保密通信，还有很多问题要解决。比如蔡氏电路的频率上限问题。我们设计的蔡氏电路频率上限是 3000Hz，实验中我们发现，当信号频率接近这个频率上限时，信号的传输质量就会变得很差。而人耳能听到的声音频率范围为 20Hz~20000Hz，所以要实现通信，就必须大幅度提高蔡氏电路的频率上限。

结论

本实验成功设计了一种混沌覆盖保密通信电路并验证了其可行性. 同时研究了蔡氏电路不同输出端作为同步端对信号传输质量和保密效果的影响. 通过本实验, 我们可以进一步加深对非线性电路的理解和对保密通信中遇到各种问题的思考和解决能力.

致谢

真诚感谢物理实验中心乐永康老师对我们的启发和指导以及电子科学与技术专业郭丽芳, 李旭燕同学对我们的帮助.

参考文献

- [1] 张玉兴等. 非线性电路与系统. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 尹元昭. 一个通过混沌同步实现保密通信的新方法. 电子与信息学报, 2001, 23 (4): 408.
- [3] 蔡枢等编. 大学物理 (当代物理前沿专题部分). 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] 李海红等. 一种简单的基于蔡氏电路的数字加密通信实验. 大学物理. 2005, 25(9): 39-40.
- [5] 卢侃等编译. 混沌学传奇. 上海: 上海翻译出版社, 1991.
- [6] 非线性电路实验讲义. 复旦大学物理教学实验中心.