

文章编号:1671-6833(2003)03-0006-04

混沌调制信号生成及其改善开关电源电磁兼容性的研究

高金峰¹, 吴振军¹, 赵 坤¹, 张 玲²

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市通讯公司, 河南 郑州 450052)

摘 要: 随机开关调制技术可以降低开关电源电磁干扰. 混沌是确定性系统产生的随机信号, 可将其用于开关电源随机开关调制的控制信号. 以蔡氏电路的混沌输出作为信号源, 给出用于控制开关电源开关调制信号的软件实现方法. 将生成的混沌调制开关信号应用于 boost 型电路, 验证混沌开关调制技术降低电磁干扰水平的效果. 计算机模拟结果表明, 以蔡氏电路的混沌输出作为信号源生成的混沌开关调制信号, 可以降低开关电源的电磁干扰水平.

关键词: 开关电源; 蔡氏电路; 混沌序列; 电磁兼容; 电磁干扰

中图分类号: TM 132 **文献标识码:** A

0 引言

由于开关电源具有高效率、高功率密度、高可靠性以及体积小、重量轻等优点, 从而得到了广泛应用. 但开关电源也伴生着严重的电磁干扰, 相应的电磁兼容性问题受到了广泛的关注. 近年来提出的基于 PWM 随机开关调制技术^[3~5], 通过控制开关的通断方式改变开关电源中信号的频谱分布以提高开关电源的电磁兼容性, 取得了较大的进展. 混沌是一类具有内在随机性且在一定频率范围内呈连续频谱分布的随机信号, 它利用混沌信号代替随机信号作为控制信号, 使开关电源工作于混沌调制模式下, 通过改变开关电源中信号的频谱分布来实现改善电磁兼容性的目的. 本文首先在简单介绍蔡氏电路的基础上给出将模拟混沌信号转变为混沌开关调制信号的软件方法, 接着对混沌开关调制信号的随机性质进行了研究, 最后以 boost 型开关电路为对象, 验证了混沌开关调制信号在降低开关电源电磁干扰方面的作用效果.

1 蔡氏电路及其混沌信号

“蔡氏电路”^[1]由 4 个线性元件和一个非线性电阻元件组成, 其电路如图 1 所示. 图 2 为非线性电阻元件的伏安特性.

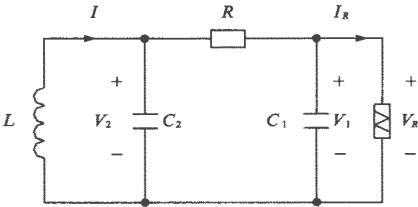


图 1 蔡氏电路原理图
Fig. 1 Chua's circuit schemes

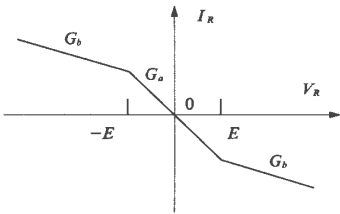


图 2 非线性电阻元件的伏安特性

Fig. 2 Voltage incurrent characteristics of

当电路参数取: $L = 5.2 \text{ mH}$, $C_1 = 22 \text{ nF}$, $C_2 = 200 \text{ nF}$, $G_a = -2 \text{ mS}$, $G_b = -1.37 \text{ mS}$, $R = 620 \text{ }\Omega$ 时, 电路产生所谓的双涡卷混沌输出. 图 3 分别给出了上述参数下电路的时域信号及双涡卷混沌相图.

从给出的时域信号及双涡卷混沌相图中可以粗略地看出混沌信号的非周期性和随机性, 特别是混沌信号的峰值电压数值、相邻峰值的时间间

收稿日期:2003-03-19; 修订日期:2003-05-21

基金项目: 河南省 2001 年度杰出青年科学基金资助项目(0112001600)

作者简介: 高金峰(1963-), 男, 河南省项城县人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事电子技术应用、非线性电路理论及其应用方面的研究.

隔、过零时间间隔都具有随机性,这也提示,混沌信号的峰值电压数值、相邻峰值的时间间隔、过零

时间间隔等也包含了原模拟混沌信号的混沌信息.

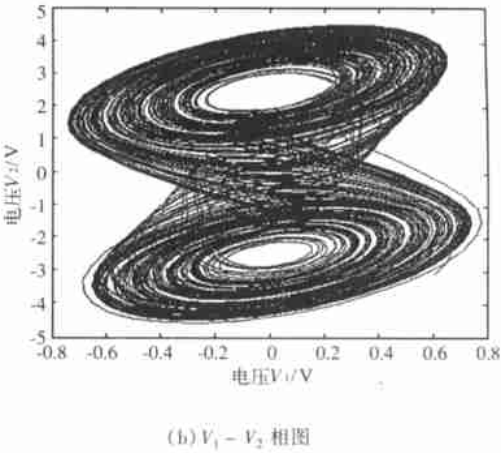
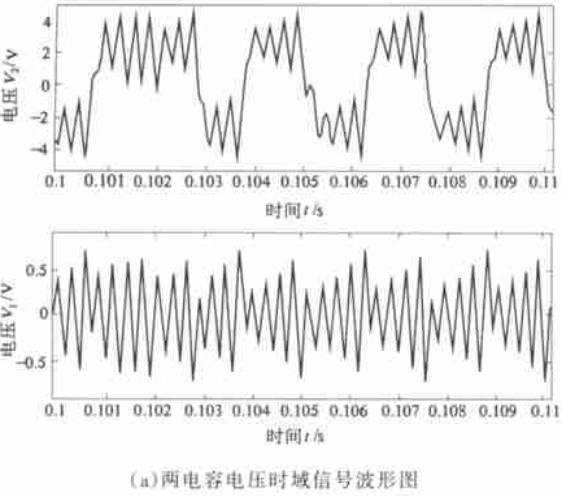


图 3 蔡氏电路混沌信号及相图
Fig. 3 Chaotic signals and phase portrait of Chua's circuit

2 混沌开关调制信号的生成及其随机性特征

开关模式电源随机开关调制模式可分为四种:随机脉冲位置调制(RPPM)模式,随机脉冲宽度调制(RPWM)模式,定占空比随机载频调制(RCFMFD)模式及变占空比随机载频调制(RCFMVD)模式.相应于各随机调制模式的随机调制开关信号可以用图 4 及表 1 表示.

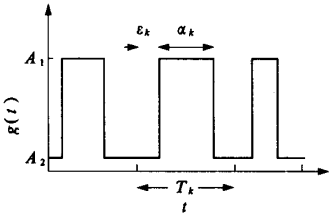


图 4 开关信号与随机调制模式

Fig. 4 Switching signal with randomized modulation schemes

表 1 不同随机调制模式的随机因素

Tab. 1 Characteristics of different random switching schemes

随机方案	周期 T_k	脉宽 α_k	脉冲延迟 ϵ_k	占空比 $d_k = \alpha_k / T_k$
标准 PWM	固定	固定	0	固定
RPWM	固定	随机	0	随机
RPPM	固定	固定	随机	固定
RCFMFD	随机	随机	0	固定
RCFMVD	随机	固定	0	随机

显然,为了获得混沌开关调制信号,要将表 1 中各模式下的随机部分用混沌信号来调制.因此,从模拟混沌信号源中得到离散的、能反映混沌信号随机性的归一化混沌序列用于确定表 1 中各随机因素的大小,是得到混沌开关调制信号的关键.同时,归一化的混沌序列与混沌开关调制信号具有相同的性质.

实际应用中,往往并不需要无穷长的混沌开关调制信号,仅要求混沌开关调制信号的长度具有保证开关模式电源的信号频谱能满足降低电磁干扰水平的频谱分布.因此,在开关模式电源混沌调制模式下,可以采用离线的方式首先获得归一化的混沌序列并预存,再根据预存的混沌序列生成调制开关的混沌开关调制信号.

如前所述,模拟混沌信号的峰值电压数值、相邻峰值的时间间隔、过零时间间隔等均包含有原混沌信号的混沌信息.因此,从模拟混沌信号中获得离散混沌序列,可以使用峰值电压数值、相邻峰值的时间间隔、过零时间间隔等中的任一个作为信息来源.

本文以蔡氏双涡卷混沌电路中电容 C_1 的电压 V_1 作为信号源,取其电压峰值数值作为生成混沌序列的对象.采用图 5 给出的筛选电压峰值数值的算法及归一化方法,就可以得到一组取值范围在 $[0, 1]$ 之间变化的离散混沌序列.

为说明以模拟混沌信号峰值数值作为生成混沌序列的对象的合理性,对生成的混沌序列的自相关和互相关特性采用如下的自、互相关函数进行分析.

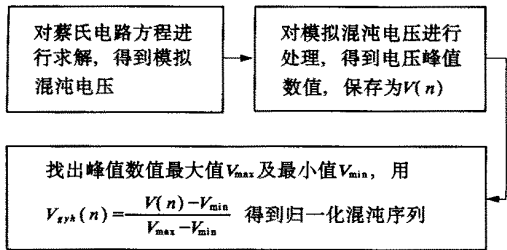


图 5 软件实现原理图

Fig. 5 Hock diagram of computer simulation

自相关函数为

$$r_{xx}(m) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+m} - \bar{x}) ;$$
$$\bar{x} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i .$$

互相关函数为

$$r_{xy}(m) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(y_{i+m} - \bar{y}) ;$$
$$\bar{y} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i .$$

图 6 和图 7 分别给出了混沌序列的自、互相关结果. 从图中可以看出混沌序列的自相关函数有类似于 δ 函数的特性, 即白噪声的随机特性; 互相关函数在相关的区域内几乎等于零. 也既是说由蔡氏双涡卷混沌电路产生的模拟混沌信号的峰值数值生成的混沌序列仍然是混沌序列, 具有随机特性.

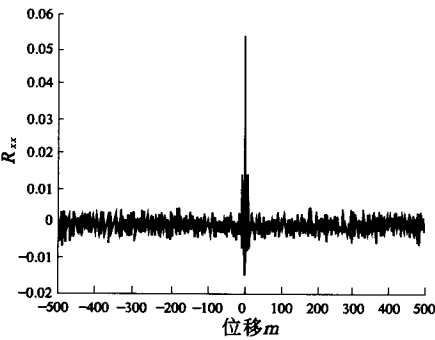


图 6 混沌序列自相关特性

Fig. 6 Auto correlation characteristics of chaotic sequence

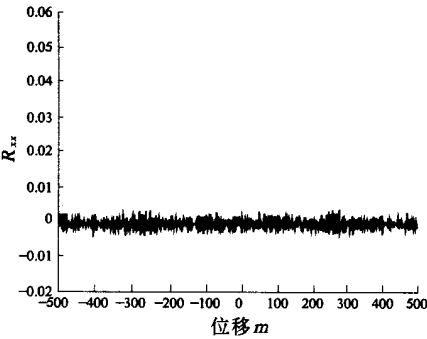


图 7 混沌序列互相关特性

Fig. 7 Cross correlation characteristics of chaotic sequence

通过离线方式得到模拟混沌信号的峰值数值生成的混沌序列并预存后, 可以利用单片机最小系统(例如 MCS 80C 251) 在软件的控制下, 获得用于控制开关电源开关的混沌开关调制信号.

3 混沌开关调制信号作用于boost 型开关电源电路

为说明混沌开关调制信号降低开关模式电源电磁干扰水平的效果, 图 8(a) 给出了boost 型开关电源电路在蔡氏双涡卷混沌电路生成的混沌开关调制信号作用下输入电流频谱的仿真结果. 为对比, 同时在图 8(b) 中给出了周期PWM 调制模式下电路的输入电流频谱.

仿真时的开关调制模式为定占空比混沌载频调制(CCFMFD) 模式. boost 型开关电源电路的参数取电源电压 $E=10\text{ V}$ 、电感 $L=1\text{ mH}$ 、电容 $C=12\text{ }\mu\text{F}$ 、开关的平均频率为 10 kHz , 平均占空比取为 0.5.

从图中可以看出, 混沌开关调制信号控制的 boost 型电路输入电流的频谱在各次谐波处明显得到了拓宽, 与周期PWM 模式下电路的输入电流频谱相比, 频谱谐波峰值有一定程度的削弱. 表 2 给出了周期PWM 模式谐波频谱峰值邻域内混沌调制频谱谱峰最大值的数值比较结果. 该组典型数值结果表明, 定占空比混沌载频调制模式能够通过频谱扩展不同程度地减小频谱中的谐波峰值, 从而降低电磁干扰水平.

表 2 CCFMFD 和周期PWM 相比峰值减小的值

Tab. 2 Compare to PWM-reduction of input current spectral peaks of CCEMED

																				dB
谐波次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
对应PWM 模式减小量	7.3	12	25	3	17	1.4	16	-3	19	-2.5	16	-1	20	0	20	1.5	17	0	19	12

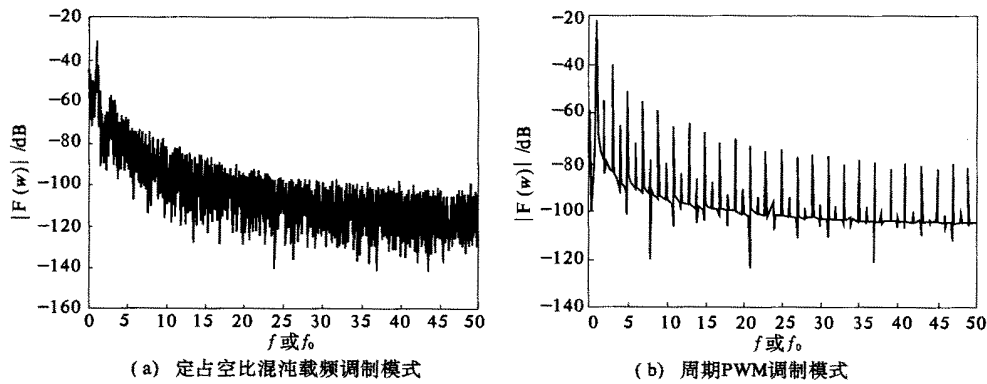


图8 boost型开关电源电路输入电流频谱

Fig. 1 Power spectrum of input current of Boost DC/DC converter

4 结论

随机开关调制技术对改善开关电源电磁兼容性有很好的效果,混沌信号是一类具有典型特征的随机信号,可以作为改善开关电源电磁兼容性控制开关的信号源.本文给出了一种将模拟混沌信号转换为混沌开关调制信号的离线方法.通过对转换后的离散混沌序列的随机特征分析表明,所获得的混沌开关调制信号保留了原模拟混沌信号的随机特性.计算机仿真结果表明,采用本文方法获得的混沌开关调制信号可以减小boost型开关电源电路输入电流信号的谐波幅度,在降低开关电源的电磁干扰水平方面作用明显.

参考文献:

[1] 蔡新国,丘水生,刘颖东.基于蔡氏电路的混沌扩频序列[J].华南理工大学学报,2000,28(1):5~9.

[2] 冉立新,陈抗生.蔡氏电路混沌信号频谱分布特征及其在电路设计中的应用[J].电路与系统学报,1998,3(1):8~13.

[3] TSE K K,CHUNG Henry Shu hung,HUI S Y R,et al.A comparative investigation on the use of random modulation schemes for DC/DC converters[J].IEEE Transactions on Industrial Electronics,2000,2:253~263.

[4] STANKOVI Aleksandar M,GEORGE C,Verghese et al.Analysis and synthesis of randomized modulation schemes for power converters[J].IEEE Transaction Power Electronics,1995,6:680~693.

[5] TSE K K,CHUNG Henry Shu hung,HUI S Y R,et al.Spectral characteristic of randomly[J].Transactions Industrial Electronics,2000,4:759~769.

[6] TSE K K,NG M M,CHUNG Henry Shu hung et al.Evaluation of a chaotic switching scheme for power convertes [A].IEEE Annual Power Electronics Specialist Conference [C].2000.412~417.

Generation of Chaos switching Mbdulation Signals and Its Application in Depressing the Level of EM in Switching mode Power Supply

GAO Jin-feng¹, WU Zhen-jun¹, ZHAO Kun¹, ZHANG Ling²

(¹College of Electrical Engineering,Zhengzhou University,Zhengzhou 450002,China ;²Zhengzhou Telecommunication Company,Zhengzhou 450052,China)

Abstract : Random switching modulation can reduce the electromagnetic interference (EM) of switching mode power supply (SMPS). Chaotic signals are sorts of stochastic signals generated from deterministic nonlinear system and can be used as random modulating signals to control SMPS. In this paper, we use the output of the "Chua's circuit" as signal source and present a method to realize the chaos switching modulation signals which are used to control SMPS. It illustrated the effect of depressing the level of EM of SMPS by applying the chaos switching modulation signal to boost DC/DC converter. The computer simulation result demonstrated that the chaos switching modulation signal, which is generated from "Chua's circuit", can be used to depress the level of EM of SMPS.

Key words : switching mode power supply (SMPS); Chua's chaotic sequence; electromagnetic compatibility (EMC); electromagnetic interference (EM)