

利用混沌提高dc/dc变换器的EMC性能

汪剑鸣, 许镇琳

(天津大学电气自动化工程学院 天津 300072)

【摘要】为了提高dc/dc变换电源的电磁兼容性,基于混沌现象的宽频谱特性提出了一种新的dc/dc变换器控制策略。首先推导了能够产生可控幅度混沌序列的Logistic映射形式,然后利用混沌序列对电流滞环控制策略的电流参考值进行扰动。从而扩展了电感电流的功率谱,降低了在开关频率及其谐波频率上发射的电磁干扰。仿真研究证明,该控制策略可以改善dc/dc变换器的电磁兼容性能。

关键词 dc/dc变换器; 电力电子; 混沌; 电磁兼容

中图分类号 TN86 **文献标识码** A

Improve EMC of dc/dc Converter by Chaos

Wang Jianming, Xu Zhenlin

(School of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University Tianjin 300072)

Abstract A dc/dc converter control scheme based on chaos is proposed, which can improve electromagnetic compatibility of dc/dc power supply. Firstly an expression of Logistic map is derived, which can generate chaotic sequences with controllable amplitudes. Then a chaotic sequence is applied to perturb reference current parameter in hysteresis current control scheme. Power spectrum of inductance current is spread and electromagnetic interference on switching frequency and its harmonic frequency is reduced. Simulation results show that the new scheme can improve electromagnetic compatibility of the dc/dc converter.

Key words dc/dc converter; power electronics; chaos; electromagnetic compatibility

近年来由于各种电气、电子设备数量的急剧增加,使设备间的电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility, EMC)日益受到了人们的重视。欧共体已经规定,从1996年1月1日起进入欧共体市场的电子、电气产品必须符合相关的EMC标准^[1],否则不允许在欧洲市场流通。因此,为了提高电子、电气产品在国际市场上的竞争力,EMC性能是一个不容忽视的问题。

采用脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)模式控制的dc/dc电源模块在正常工作时,所有的电压电流波形都是周期的。因此,在开关频率及其谐波频率上会产生较强的电磁干扰(Electromagnetic Interference, EMI),从而使整个设备不能满足相关EMC标准的要求。

混沌现象是近年来非线性理论研究的一个热点。混沌序列具有类似随机序列的宽频谱特性,且易于产生。本文利用混沌序列的特点,提出了一种新的dc/dc变换器控制策略,该控制策略降低了变换器在开关频率及其高次谐波频率上的EMI。

收稿日期:2003-01-03

作者简介:汪剑鸣(1974-)男,博士,现工作单位为天津工业大学信息与通信工程学院,主要从事电力电子中非线性现象、数学图像处理等方面的研究;许镇琳(1939-),男,教授,博导,主要从事自动化、电力电子与电力传动等方面的研究。

1 Logistic混沌序列

Logistic映射有多种表达式, 如式1所示是常见的一种。

$$x_{n+1} = ux_n(1 - x_n) \tag{1}$$

把 u 做为分叉参数, 由分叉理论可知, 当 $u = 3$ 和 $u = 1 + \sqrt{6}$ 时系统分别产生周期2和周期4不动点。系统发生混沌的临界值

$$u_c = u_2 + \frac{u_2 - u_1}{d - 1} \tag{2}$$

式中 $d \approx 4.669$ 为Feigenbaum常数。代入数值计算, $u_c \approx 3.5714$, 如图1a所示。由图可知, 当分叉参数 $u=4$ 时, 系统处于混沌状态, 变量 x 在区间(0, 1)内取值。

为了得到可在任意范围内取值, 且其均值为0的混沌序列, 做如下变换:

$$x = ay + b \tag{3}$$

代入式(1), 令 $u = 4$ 并且在满足迭代序列平均值为0条件下, 整理得到

$$y_{n+1} = \frac{a}{2} - \frac{4}{a}y_n^2, \quad y_n \in \left(-\frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right) \tag{4}$$

为了便于表述, 称式(4)为变形Logistic映射。利用变形Logistic映射得到的混沌序列, 其取值范围由参数 a 控制, 且均值为零。当 $a = 0.4$ 时得到的在(-0.2, 0.2)内取值的混沌序列如图1c所示。

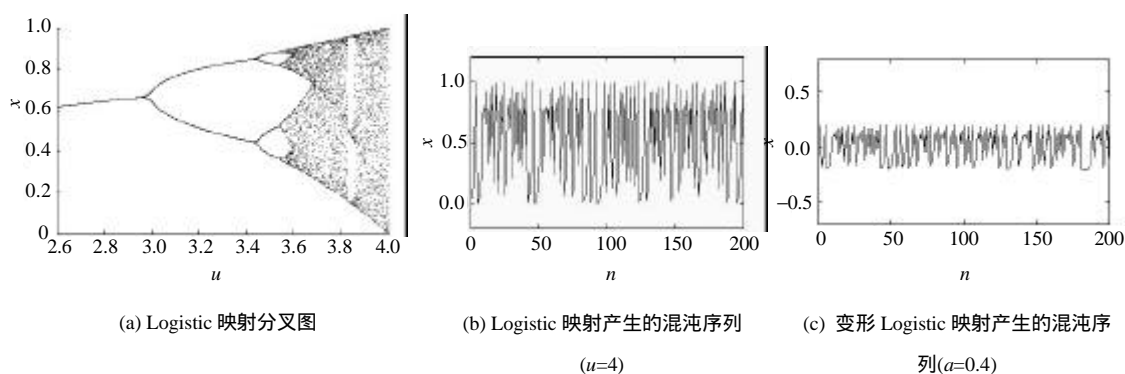


图 1 Logistic 映射

2 新控制策略的原理

如图2所示为一种常见的dc/dc控制策略——滞环控制策略。该控制策略限定了电感电流波动的最大值 I_{Top} 和最小值 I_{bottom} , 电感电流波形如图3a所示。此时, 电感电流为周期的, 变换器有固定的开关周期 T 。设电感电流为 $I_{Lp}(t)$, 则

$$I_{Lp}(t) = I_{Lp}(t + T) \tag{5}$$

式中 T 为开关周期。对式(5)做傅里叶变化, 应用移位定理并整理得

$$I_{Lp}(w)(1 - \exp(-2\pi Twj)) = 0 \tag{6}$$

式中 $I_{Lp}(w)$ 是 $I_{Lp}(t)$ 的傅里叶变换。因为

$$1 - \exp(-2\pi Twj) = \begin{cases} 0 & wT = \text{整数} \\ \neq 0 & wT \neq \text{整数} \end{cases}$$

要使式(6)成立, 则有: $I_{Lp}(w) = \begin{cases} 0 & wT \neq \text{整数} \\ \neq 0 & wT = \text{整数} \end{cases}$ 。

可以看到, 由于在该工作模式下电流波形是一个周期波形, 从频域的角度, 电流的频谱是离散的, 所以电流的能量集中在开关频率及其高次谐波上, 使这些频率上的

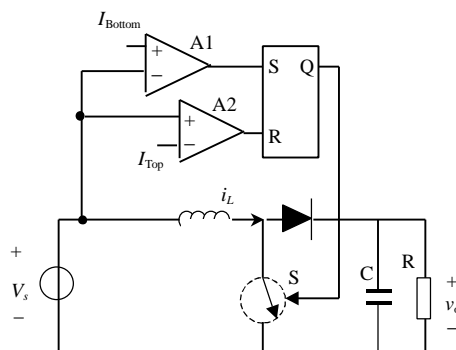


图 2 采用滞环控制的 Boost 变换器

电流分量较大, 频率的EMI也较大。

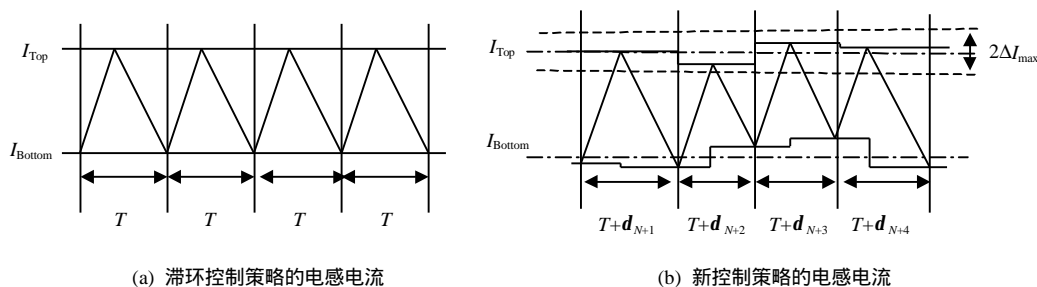


图3 电感电流波形示意图

通过分析相应的EMC标准发现, 该标准往往是对在一定范围内的EMI的最大值进行了规定, 而工作在周期状态下的dc/dc模块在开关频率或其谐波频率上的EMI可能会超过规定值, 从而使该dc/dc模块不能遵守该EMC标准。此时, 可以通过扩展频谱的方法来提高降低dc/dc在开关频率及其谐波频率上的EMI来满足相应的EMC标准^[2]。基于此本文提出的新的控制策略:

为了扩展电流波形的频谱, 让电流设定值(I_{Bottom} 与 I_{Top})在原有值的基础上叠加一个在 ΔI_{max} 内波动的混沌序列, 如图3b所示。此时电感电流的波形不再是周期波形, 式(5)、(6)也不成立, 电感电流的频谱由离散状态变为连续状态。这样, 集中在开关频率及其谐波上的能量得到扩散, 大大减低了在这些频率上的电流分量, 使dc/dc模块更容易满足EMC标准的要求。

3 仿真研究

采用新控制策略的Boost变换器其结构示意图如图4所示。

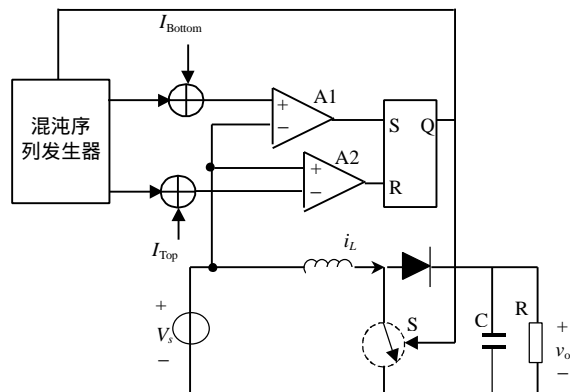


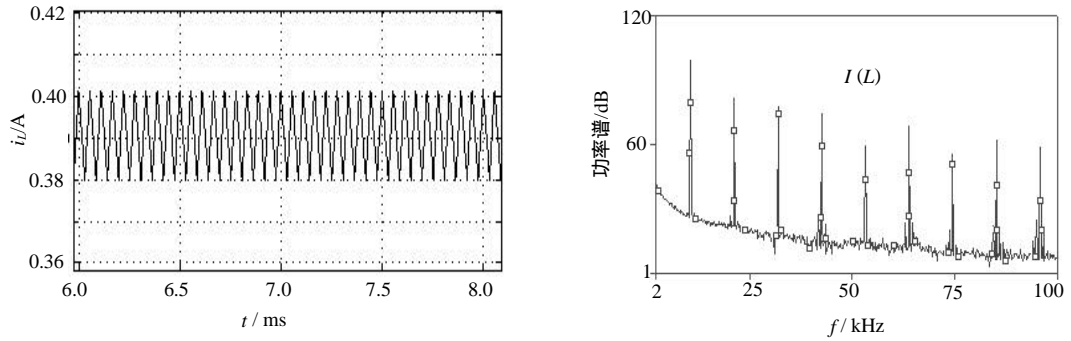
图4 采用新控制策略的 Boost 变换器

为了验证新方法的有效性, 利用计算机仿真技术观察在两种控制策略下, Boost变换器电感电流功率谱的变化。令两种控制策略下的Boost变换器, 其各元件值相同: $R=10\ \Omega$, $L=1\ \text{mH}$, $C=47\ \mu\text{F}$, $u_s=10\ \text{V}$ 。又令 $I_{Top}=0.4\ \text{A}$, $I_{Bottom}=0.38\ \text{A}$, $\Delta I_{max}=0.005\ \text{A}$ 。

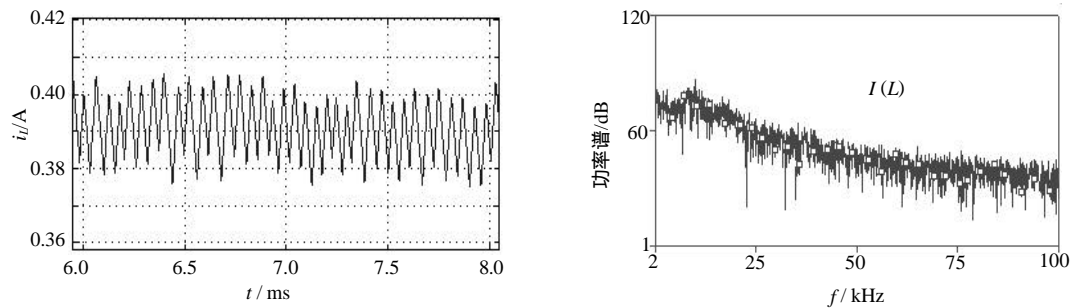
仿真结果如图5所示, 为了便于同EMC标准对照, 电流功率谱采用对数表示。在开关频率 f_s 及各次谐波上电流的减小如表1所示。

表1 开关频率其谐波上电感电流功率谱分量的降低

频率	f_s	$2f_s$	$3f_s$	$4f_s$	$5f_s$	$6f_s$
降低/dB μA	13	8	13	8	10	13



(a) 滞环控制策略的电感电流及其功率谱



(b) 新控制策略的电感电流及其功率谱

图5 仿真结果

4 结 论

本文指出dc/dc变换器在开关频率及其高次谐波上有着较强的电磁干扰发射,其主要原因是电路中的电流波形是周期的。为了扩展电路中电流的频谱,利用混沌序列对滞环控制策略的电流参考值进行扰动,破坏了电路中电流的周期性。计算机仿真结果表明,这种控制策略扩展了电感电流的频谱,降低了在开关频率及其各次谐波频率上的电磁干扰发射,因此新控制策略可以提高dc/dc变换电源的电磁兼容性。

参 考 文 献

- [1] 陈淑凤, 马蔚宇. 电磁兼容试验技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001. 10-12
- [2] Deane J H B, Hamill D C. Improvement of power supply EMC by chaos[J]. Electronics Letters, 1996, 32: 1 045-1 046

编辑 漆 蓉