

# Research of a Feedforward Active Filter Applied in Chaotic Switching-Power

Chen Liming<sup>1</sup>, Xiebin<sup>2</sup>

1.Leshan teachers college, Leshan, China

2.The Engineering Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan, China

1.lstcchl@sohu.com,2.lepengceng01@126.com

**Abstract:** According to the characteristic of the output ripple voltage in switching-power with a chaotic frequency modulation scheme (CFMS): the Output ripple voltage exists in the low frequency band, and the ripple of the waveform follows the modulation signal, which is basically the same as the waveform of the modulation signal, it is difficult to filter out the ripple voltage in traditional methods. Presents a feedforward active filter, the active filter circuit is connected to the output of the switching power supply as a feedback circuit, and then through the transformer, the output ripple voltage will be delivered to the main circuit, which offset the ripple voltage in the main circuit. The emulational results demonstrate that the feedforward active filter can suppress the output ripple voltage effectively.

**Keywords:** chaotic frequency modulation, output ripple voltage, feedforward active filter, EMI

## 前馈有源滤波器在混沌开关电源中应用的研究

陈莉明<sup>1</sup>, 谢斌<sup>2</sup>

1. 乐山师范学院, 乐山, 中国, 614004

2. 成都理工大学工程技术学院, 乐山, 中国, 614007

1.lstcchl@sohu.com,2.lepengceng01@126.com

**【摘要】**针对混沌频率调制开关电源中的输出电压纹波的特性:输出电压的纹波在低频段存在,并且纹波跟随调制信号的波形,与调制信号的波形基本一致,采用传统的滤波方式很难滤除纹波。讨论了一种有源滤波方式,将有源滤波电路作为反馈电路连接在混沌开关电源的输出端,再通过变压器将反馈的电压纹波传递到主电路,从而抵消掉主电路中的纹波。仿真表明,前馈有源滤波器能有效抑制开关电源的输出纹波。

**【关键词】**混沌频率调制; 输出纹波电压; 前馈有源滤波器; 电磁干扰

### 1 引言

本模板由从70年代开始,开关电源得到迅速发展和广泛应用。如今已经广泛地用于计算机、通信设备、控制设备、家用电器等电子设备中。开关电源功耗小、效率高、体积小、重量轻、稳压范围宽等特点。但开关电源功率变换器中的功率半导体器件的开关频率通常较高,功率开关器件在高频下的通、断过程中不可避免地要产生强大的电磁干扰(EMI),逆变电路在工作过程中也将产生较强的电磁干扰和高次谐波噪声。这些噪声干扰将会污染电磁环境,也干扰自身的正常工作。如果处理不当,开关电源本身就会变成一个干扰源。随着电子产品的电磁兼容性(EMC)日益受到重视,抑制开关电源的EMI<sup>[1-2]</sup>质量,使之符合有关EMC标准,已成为电子产品设计者越来越关注的问题。与线性电源比较,开关电源输出纹波大、辐射干扰大、响应速度慢等缺点限制了它的应用范围。要降

基金项目:广东省自然科学基金(06300282)

低纹波和电磁干扰(EMI),需要研究新的滤波技术<sup>[3-4]</sup>

由于在特定频段内,有源滤波器的性能指标远远优于无源电路。特别是在低频段,如果应用线性元件,体积比较庞大,而有源滤波器可提供受控需要的增益,因此在开关电源中采用有源滤波器是一个较好的选择。但是,如果仅仅采用含有功率集成元件的有源滤波电路,对于特殊的电路来说,滤波效果不一定能达到最好。如果在电路中加入反馈,将输出纹波反馈到输入端,抵消掉主电路的纹波,可以较好地抑制输出电压纹波。本文将将有源滤波电路作为反馈电路连接在混沌开关电源的输出端,再通过变压器将反馈的电压纹波传递到主电路,从而抵消掉主电路中的纹波,达到滤除纹波的目的。

### 2 混沌开关电源输出纹波的特点

由于电路采用了混沌频率调制,而低频纹波是通过DC/DC变换器传递到输出的,因此输出电压的纹波波形跟随混沌调制信号的波形。以一个将电压从直

流 48V 转换为 5V 的双正激式 DC/DC 功率变换器构成的、开关频率为 200kHz 的电源为例，用 saber 软件对电路进行仿真，可以看到输出电压的纹波跟随调制信号的波形，与调制信号的波形基本一致，如图 1 所示。由图 2 可知，输出电压  $v_{out}$  的纹波频率在低频段存在，如果采用传统的滤波方式很难滤除纹波。

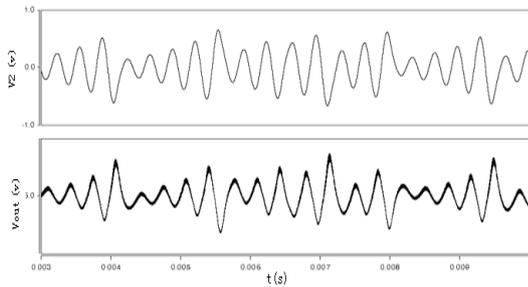


Figure 1. Waveform of chaotic signal  $V_2$  and output voltage  $V_{out}$

图 1 上图为调制信号  $V_2$  的波形，下图为输出电压  $V_{out}$  的波形

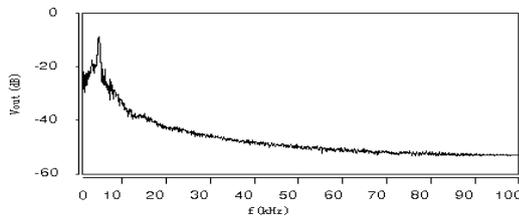


Figure 2. Spectrum of output voltage  $V_{out}$

图 2 输出电压  $V_{out}$  的频谱

### 3 前馈有源滤波器的原理

根据混沌开关电源输出电压纹波的特点，在混沌开关电源的输出端连接图 3 所示的前馈有源滤波电路<sup>[5]</sup>，构成图 4 所示的具有前馈有源滤波器的混沌开关电源电路，用以抑制混沌开关电源的输出电压纹波。

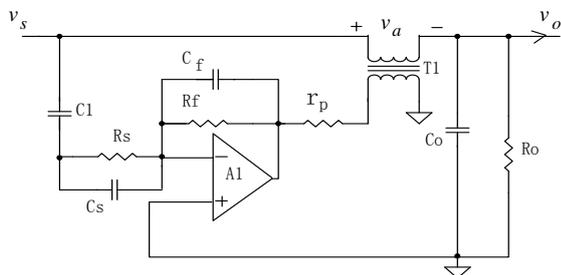


Figure 3. The circuit of feedforward active filter  
图 3 前馈有源滤波器电路

在图 3 中

$$v_s = V_s + \Delta v_s \quad (1)$$

$$v_o = V_o + \Delta v_o \quad (2)$$

$$\Delta v_o = \Delta v_s - v_a \quad (3)$$

其中， $V_s$ 、 $V_o$  为直流分量， $V_s = V_o$ ， $\Delta v_s$ 、 $\Delta v_o$  为交流分量。当  $\Delta v_s = v_a$  时， $\Delta v_o = 0$ ，则  $v_o = V_o$ ，输出电压为直流分量，纹波被滤出。

图 3 所示前馈有源滤波器，包括两部分，有源部分和电压互感器部分。其中有源部分由电容  $C_1$ 、电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和集成运算放大器  $A_1$  构成。电容  $C_1$  隔断主电路的直流电压而使交流信号进入功率放大器，通过放大后输出到电压互感器  $T_1$  的原边，通过电压互感后，在  $T_1$  的副边产生与主电路电压纹波大小相同的电压，从而抵消掉主电路的纹波，理论上使输出电压纹波为零。

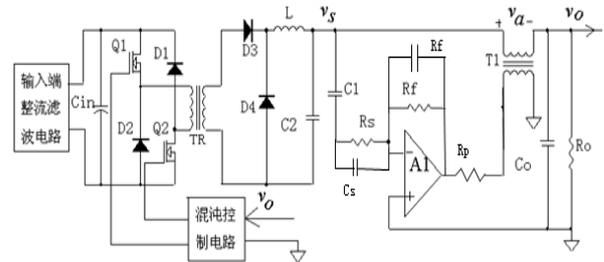


Figure 4. The Chaotic switching-Power circuit with feedforward active filter

图 4 具有前馈有源滤波器的混沌开关电源电路

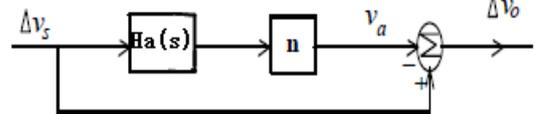


Figure 5. Voltage-ripple suppression model of the feedforward active filter

图 5 前馈有源滤波器的电压纹波抑制模型

图 5 为电压纹波的抑制模型， $H_a(s)$  为有源部分的传递函数， $n$  为电压互感器的变压比，在前馈有源滤波器中，电压互感器  $T_1$  的互感为  $M$ ，原边绕组的匝数为  $n_p$ ，电感值为  $L_p$ ，副边绕组的匝数为  $n_s$ ，电感值为  $L_s$ 。集成运算放大器  $A_1$  的闭环增益  $A_f$  由电阻  $R_1$  和  $R_2$  决定

$$A_f = \frac{R_f}{R_s} \quad (4)$$

电压互感器的变压比为

$$n = \frac{v_p}{v_s} \quad (5)$$

滤波器的下限频率  $f_L$  由电容  $C_1$  和电阻  $R_s$  决定

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_s C_1} \quad (6)$$

要滤出输出电压纹波, 必须使  $\Delta v_s = v_a$ , 即

$$A_f = n \quad (7)$$

由于在放大过程中信号容易产生相移, 因此在  $R_s$  和  $R_f$  两端分别并联一个小电容  $C_s$  和  $C_f$ , 用以进行相位补偿。

图 3 所示的前馈有源滤波器的传递函数为

$$H(s) = \frac{\Delta v_o}{\Delta v_s} = 1 - \frac{v_a}{\Delta v_s} = 1 - \frac{MR_f C_1 (1 + sR_s C_s) s^2}{r_p (1 + sL_p / r_p) (1 + sR_s C_1) (1 + sR_f C_f)} \quad (8)$$

式中  $r_p$  为原边线圈的等效电阻。将  $s = j\omega$  代入 (8) 有

$$H(j\omega) = 1 - \frac{v_a}{\Delta v_s} = 1 - \frac{(-\omega^2)MR_f C_1 (1 + j\omega R_s C_s)}{r_p (1 + j\omega L_p / r_p) (1 + j\omega R_s C_1) (1 + j\omega R_f C_f)} \quad (9)$$

令  $H_r = \frac{v_a}{\Delta v_s}$ , 则  $H(j\omega) = 1 - H_r(j\omega)$ 。

当输出电压纹波为零时,  $\Delta v_s = v_a$ , 即  $H_r(j\omega) = 1$ ,  $H(j\omega) = 0$ 。令  $H_r(j\omega)$  的模为  $|H_r(j\omega)|$ , 初相位为  $\varphi$ , 由于

$$H_r(j\omega) = \frac{(-\omega^2)MR_f C_1 (1 + j\omega R_s C_s)}{r_p (1 + j\omega L_p / r_p) (1 + j\omega R_s C_1) (1 + j\omega R_f C_f)} = 1,$$

可知  $H_r(j\omega)$  的模为  $|H_r(j\omega)| = 1$ , 初相位为  $\varphi = 0$ 。因此, 要滤除输出电压纹波, 在选取滤波器的参数时一定要满足下面的条件

$$\begin{cases} |H_r(j\omega)| = 1 \\ \varphi = 0 \end{cases} \quad (10)$$

#### 4 验证

对图 4 电路进行仿真, 验证滤波电路的有效性。混沌开关电源为将电压从 48V 转换为 5V 的双正激混沌开关电源, 电源的开关频率为 200kHz, 控制芯片是 UC3825, 功率开关管采用 IRF250, 电感  $L = 0.53mH$ , 电容  $C_{out} = 20\mu F$ , 负载电阻  $R_o = 7.5\Omega$ , 滤波前输出电压的纹波为 170mV。根据参数的条件选取不同的参数, 用 Saber 软件对电路进行仿真, 当选取参数为:  $C_1 = 0.1\mu F$ 、 $R_s = 1M\Omega$ 、 $C_s = 100pF$ 、

$C_f = 47pF$ 、 $R_f = 1k\Omega$ 、 $R_1 = 5k\Omega$ 、 $C_2 = 100nF$ 、 $L_p = 0.5mH$ 、 $L_s = 5mH$ 、 $M = 1.58mH$ 、 $C_o = 470nF$  时, 电路输出的纹波最小, 滤波后输出电压的纹波为 20mV, 波形如图 6 所示。

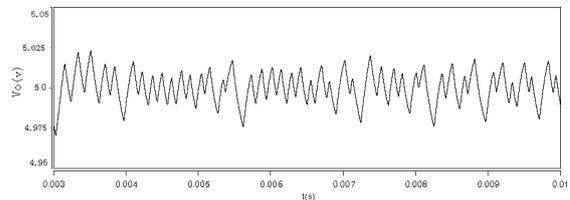


Figure 6 Waveforms of output voltage  $V_o$  after filtering

图 6 滤波后输出电压  $v_o$  的波形

从实验可知, 前馈有源滤波器能有效抑制混沌开关电源的输出电压纹波, 滤波后输出电压的纹波为输出电压的 0.4%; 并且, 由于电压互感器上的电压为幅值很小的交流电, 电源损耗的功率较少, 因此具有一定的实用性。

#### 致谢

本论文是在丘水生教授的悉心指导和严格要求下进行的, 值此论文完成之际, 谨向导师丘教授致以崇高的敬意和衷心的感谢!

#### References (参考文献)

- [1] Li Jianting, Ding Zhiliang, Xiong Rui. EMI-Control Methods of Switch Mode Power Supply[J]. Telecom Power Technologies, 2006, 23(2): 57-61.  
李建婷, 丁志亮, 熊蕊. 开关电源 EMI 的抑制策略[J]. 通信电源技术, 2006, 23(2): 57-61.
- [2] Qiu Rong, Qiu Shuisheng. The Develop Trend of New Technology of EMI Noise Restrain of High Frequency Switch-Mode Power Supply[J]. Telecom Power Technologies, 2007, 24(5): 65-66.  
丘嵘, 丘水生. 高频开关电源抑制 EMI 噪声的新技术发展动态[J]. 通信电源技术, 2007, 24(5): 65-66.
- [3] Guan Yongjin. Eletromagnetic Interference and Wave Filtering Measures of the Switcher Power[J]. Electric Age, 2007, 11: 92-95.  
关永晋. 开关电源的电磁干扰及其滤波措施[J]. 电气时代, 2007, 11: 92-95.
- [4] Zhang Jinling. Design of Electromagnetic interference low-pass filter[J]. China Science and Technology Information, 2008, 11: 162-168.  
张金玲. 电磁干扰低通滤波器的设计[J]. 中国科技信息, 2008, 11: 162-168.
- [5] Sam Y. M. Feng, William A. Sander, 111, Akd Thomas G. Wilson Small-Capacitance Nondissipative Ripple Filters for DC Supplies. IEEE Transactions on Industrics, 1970, 6: 137-140.