



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103954821 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201410176825. 9

(22) 申请日 2014. 04. 30

(71) 申请人 上海电力学院

地址 200090 上海市杨浦区平凉路 2103 号

(72) 发明人 赵晋斌 刘争光 屈克庆

(74) 专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司

31001

代理人 吴宝根

(51) Int. Cl.

G01R 19/00 (2006. 01)

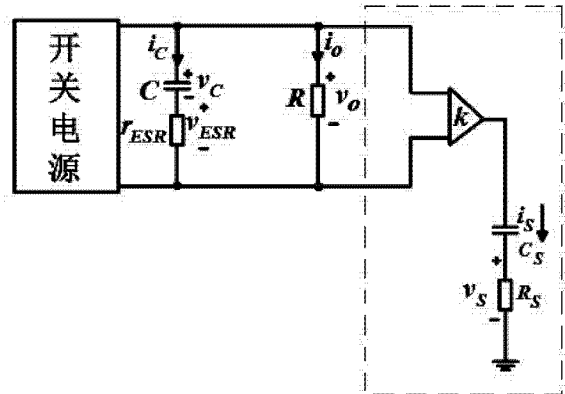
权利要求书1页 说明书3页 附图4页

(54) 发明名称

一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法

(57) 摘要

本发明涉及一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法,滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测电路由差分放大器和 RC 串联支路组成,开关电源电路输出两端接差分放大器输入,差分放大器输出接串联的测量 RC 支路,所测得测量 RC 支路电阻上的电压  $v_S = k \cdot v_{ESR}$ ,其中,  $k$  为差分放大器增益,  $v_{ESR}$  为滤波电容等效串联电阻的纹波电压。通过利用检测支路阻抗与滤波电容支路阻抗的比例关系,间接提取滤波电容的等效串联电阻 (ESR) 的纹波电压信息,检测支路只需差分放大器和一条 RC 串联支路,元件少,测量方便简单;没有使用电流传感器能够减小开关电源的成本和体积;采用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿,能够很好的提高开关电源的稳定性。



1. 一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法,其特征在于,滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测电路由差分放大器和 RC 串联支路组成,开关电源电路输出两端接差分放大器输入,差分放大器输出接串联的测量 RC 支路,所测得测量 RC 支路电阻上的电压  $v_s = k \cdot v_{ESR}$ ,其中,  $k$  为差分放大器增益,  $v_{ESR}$  为滤波电容等效串联电阻的纹波电压。

2. 根据权利要求 1 所述滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法,其特征在于,所述测量 RC 支路中电容电阻与开关电源电路中滤波电容关系为:

$$C_s = C / (k \cdot N), R_s = k \cdot N \cdot r_{ESR},$$

其中  $C_s$  为测量 RC 支路电容;  $R_s$  为测量 RC 支路电阻;  $C$  为滤波电容;  $r_{ESR}$  为滤波电容的等效串联电阻;  $N$  是正整数。

## 一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电压信号检测技术,特别涉及一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法。

### 背景技术

[0002] 随着电子元器件制造技术的飞速发展,各种新型电容不断涌现,体积小寿命长的电容越来越受欢迎。滤波电容作为开关电源电路中必不可少的一部分,其作用不可忽视。为了减小开关电源的体积,体积小寿命长的电容得到广泛的应用。但是由于某些种类电容的寄生等效串联电阻(ESR)过小,会使开关电源运行在不稳定条件并导致不能正常工作,从而造成了这些类型电容的使用受到局限。这几年,针对滤波电容的等效串联电阻(ESR)在开关电源控制特性中重要性的研究开始备受关注。例如:1. 如何提取滤波电容等效串联电阻(ESR)两端的纹波电压信息;2. 如何利用该信息对控制电路实施纹波补偿,以此间接提高滤波电容的等效串联电阻(ESR)的稳定。围绕纹波电压出现了以下不同的提取方法,如利用电流传感器提取滤波电感电流代替滤波电容等效串联电阻(ESR)纹波的方法,虚拟电感电流法等。但是这些方法带来一些问题,如利用传统的电流传感器会增大开关电源的体积和成本,而且其提取的滤波电感电流易含有直流偏量;虚拟电感电流的方法中的参数不易调节,容易产生震荡,不能很好地提取有效的纹波。

[0003] 因此现在纹波电压提取上存在如下问题:由于等效串联电阻(ESR)寄生在开关电源的滤波电容中,难以直接提取其纹波;利用电流传感器提取滤波电感电流来代替电容等效串联电阻(ESR)的纹波,易造成开关电源成本的上升,此外,提取的滤波电感电流具有直流偏量,对控制电路进行纹波补偿,会引起其他问题;在虚拟电感电流法中,由于该方法的电路参数不易调节,容易产生震荡,不能很好地提取有效的纹波。

### 发明内容

[0004] 本发明是针对用电感电流进行纹波补偿存在直流偏量和滤波电容ESR纹波信息提取困难的问题,提出了一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法,通过利用检测支路阻抗与滤波电容支路阻抗的比例关系,间接提取滤波电容的等效串联电阻(ESR)的纹波电压信息。由于该检测方法只需要一个差分放大器、一个含有电容和电阻的串联支路,检测支路的器件少,能够使开关电源的稳定性、成本和体积均得到较大改善。最后通过理论与仿真在与用电感电流进行纹波补偿的方法对比的基础上,验证了该检测方法的有效性。

[0005] 本发明的技术方案为:一种滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法,滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测电路由差分放大器和RC串联支路组成,开关电源电路输出两端接差分放大器输入,差分放大器输出接串联的测量RC支路,所测得测量RC支路电阻上的电压  $v_s = k \cdot v_{ESR}$ ,其中, $k$ 为差分放大器增益, $v_{ESR}$ 为滤波电容等效串联电阻的纹波电

压。

[0006] 所述测量 RC 支路中电容电阻与开关电源电路中滤波电容关系为：

$$C_s = C / (k \cdot N), R_s = k \cdot N \cdot r_{ESR},$$

其中  $C_s$  为测量 RC 支路电容 ;  $R_s$  为测量 RC 支路电阻 ;  $C$  为滤波电容 ;  $r_{ESR}$  为滤波电容的等效串联电阻 ;  $N$  是正整数。

[0007] 本发明的有益效果在于 : 本发明滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法, 检测支路只需差分放大器和一条 RC 串联支路, 元件少, 测量方便简单 ; 没有使用电流传感器能够减小开关电源的成本和体积 ; 采用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿, 能够很好的提高开关电源的稳定性。

### 附图说明

[0008] 图 1 为本发明滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法 1 示意图 ;

图 2 为本发明滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法 2 示意图 ;

图 3 为用电感电流进行纹波补偿的滞环控制示意图 ;

图 4 为本发明用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿的滞环控制示意图 ;

图 5 为进行纹波补偿的滞环控制稳态波形图 ;

图 6 为用电感电流进行纹波补偿的滞环控制稳态响应曲线图 ;

图 7 为本发明用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿的滞环控制稳态响应曲线图。

### 具体实施方式

[0009] 如图 1、2 所示滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法 1、2 示意图, 滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测电路由差分放大器和 RC 串联支路组成, 如图 1 中虚线部分, 输出电压经差分放大器连接到检测 RC 串联支路上, 如图 2 中虚线部分, 输出电压经过第一差分放大器连接到检测 RC 串联支路上, 检测电阻经过第二差分放大器输出。

[0010] 由于等效串联电阻 (ESR) 寄生在滤波电容  $C$  中, 不易直接提取其纹波, 通过检测支路间接提取等效串联电阻 (ESR) 的纹波。其原理如下 : 由于滤波电容  $C$  支路的电压与 RC 串联检测支路的端电压成比例 (比例系数为差分放大器的增益  $1/k$ ), 为了测量等效串联电阻 (ESR) 的端电压  $v_{ESR}$ , 也就是测量流过滤波电容  $C$  支路的电流  $i_C$ , 根据并联分流原理可知, 为了使检测支路的电流  $i_s$  与滤波电容  $C$  支路的电流  $i_C$  成比例, 应当使滤波电容  $C$  支路的阻抗与 RC 串联检测支路的阻抗成比例, 从而使得 RC 串联检测支路中电阻两端的端电压  $v_s$  与等效串联电阻 (ESR) 的端电压  $v_{ESR}$  成比例, 然后用  $v_s$  代替  $v_{ESR}$ , 间接获得等效串联电阻 (ESR) 纹波, 从而能够对控制电路进行纹波补偿。

[0011] 图 1 和 2 中开关电源包含所有 DC-DC 开关变换器的拓扑结构。其中  $C$  为滤波电容 ;  $r_{ESR}$  为滤波电容的等效串联电阻 ;  $R$  为负载 ;  $C_s$  为测量支路电容 ;  $R_s$  为测量支路电阻 ;  $k$  为差分放大器增益 ;  $k_1$  为第一差分放大器增益 ;  $k_2$  为第二差分放大器增益 ;  $i_C$  为滤波电容电流 ;  $i_o$  为负载电流 ;  $i_s$  为测量支路电流 ;  $v_C$  为滤波电容电压 ;  $v_{ESR}$  为等效串联电阻的电压 ;  $v_o$  为输出电压 ;  $v_s$  为测量支路电阻的端电压 ;  $v_{k2}$  为  $k_2$  放大器的输出电压。

[0012] 滤波电容等效串联电阻的纹波电压检测方法 1, 在复频域内

$$i_C = \frac{v_o}{r_{ESR} + 1/(sC)} \quad (1)$$

$$i_S = \frac{k \cdot v_o}{R_S + 1/(sC_S)} \quad (2)$$

为了获取滤波电容 ESR 的信息,需要使得滤波电容电流  $i_C$  和测量支路电流  $i_S$  成比例,也就是(3)式成立时,

$$i_S = \frac{1}{N} i_C \quad (3)$$

其中 N 是正整数。

[0013] 可得测量支路的复频域阻抗  $Z_S$  和滤波电容支路的复频域阻抗  $Z_C$  的关系

$$\begin{aligned} Z_S &= R_S + 1/(sC_S) \\ &= k \cdot N \cdot [r_{ESR} + 1/(sC)] = k \cdot N \cdot Z_C \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{也就是 } C_S = C/(k \cdot N), R_S = k \cdot N \cdot r_{ESR} \quad (5)$$

由(3)和(5)可得

$$v_S = i_S \cdot R_S = k \cdot i_C \cdot r_{ESR} = k \cdot v_{ESR} \quad (6)$$

滤波电容等效串联电阻的纹波检测方法 2,同理可得:

$$v_{k2} = k_1 \cdot k_2 \cdot v_{ESR} \quad (7)$$

检测方法运用举例:如图 3 所示用电感电流进行纹波补偿的滞环控制,电感输出端经过放大器输出进行补偿,如图 4 所示用本发明滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿的滞环控制,输出电压经差分放大器连接到检测 RC 串联支路上,取检测电阻上电压输出进行补偿。 $V_{in}$ : 输入电压;S:MOSFET;D: 电力二极管; $L$ :滤波电感; $C$ :滤波电容; $r_{ESR}$ :滤波电容的等效串联电阻; $R$ : 负载; $k_0$ :放大器增益; $k$ :差分放大器增益; $i_L$ :电感电流; $i_C$ :滤波电容电流; $i_o$ :负载电流; $v_C$ :滤波电容电压; $v_{ESR}$ :等效串联电阻的电压; $v_o$ :输出电压; $v_S$ :纹波补偿电压; $v_{FB}$ :参与滞环比较的反馈电压; $v_H$ :滞环窗口的高参考电压; $v_L$ :滞环窗口的低参考电压; $I_o$ :负载电流的平均值; $T_{ON}$ :开关导通时间; $T_{OFF}$ :开关关断时间; $T_S$ :开关周期。

[0014] 图 5 为上述两种检测方法举例的纹波补偿的滞环控制稳态波形,如图 6 为用电感电流进行纹波补偿的滞环控制稳态响应曲线图;图 7 为本发明用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿的滞环控制稳态响应曲线图。其中  $v_S$  是进行补偿的纹波电压。当用电感电流进行纹波补偿时,该电压具有直流偏量;当用滤波电容 ESR 电压进行纹波补偿时,该电压无直流偏量。

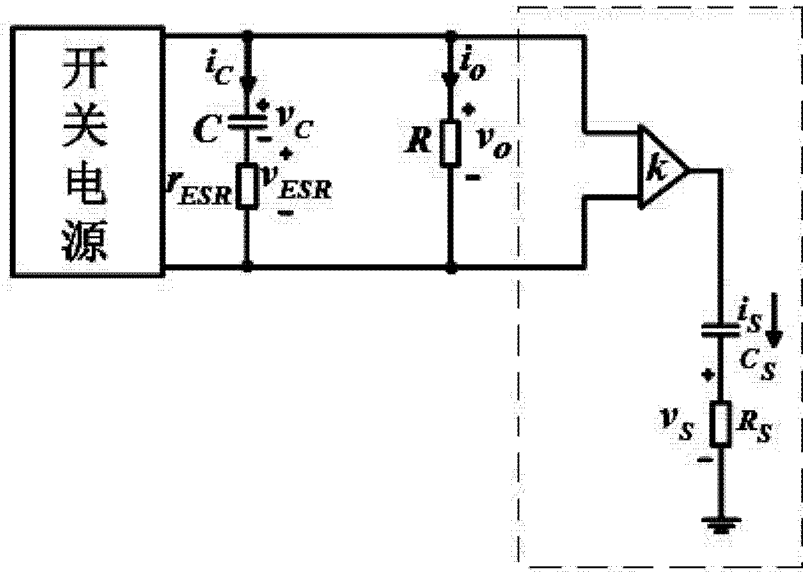


图 1

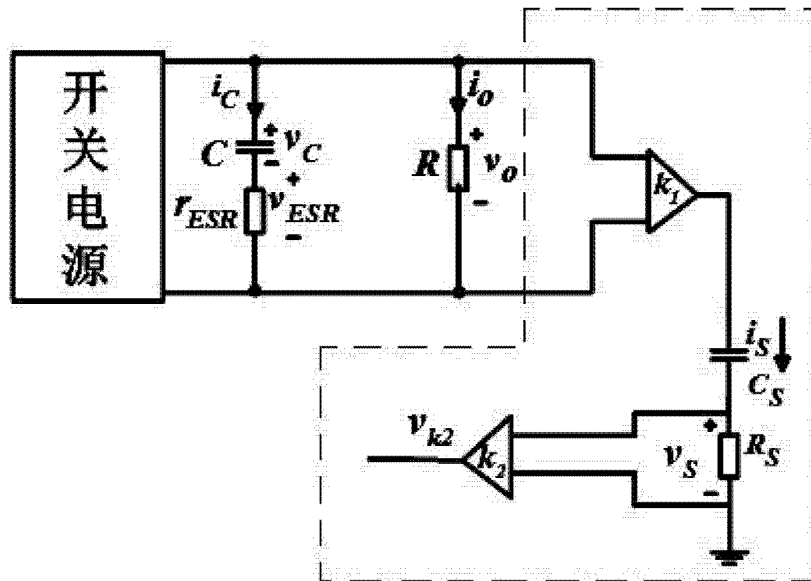


图 2

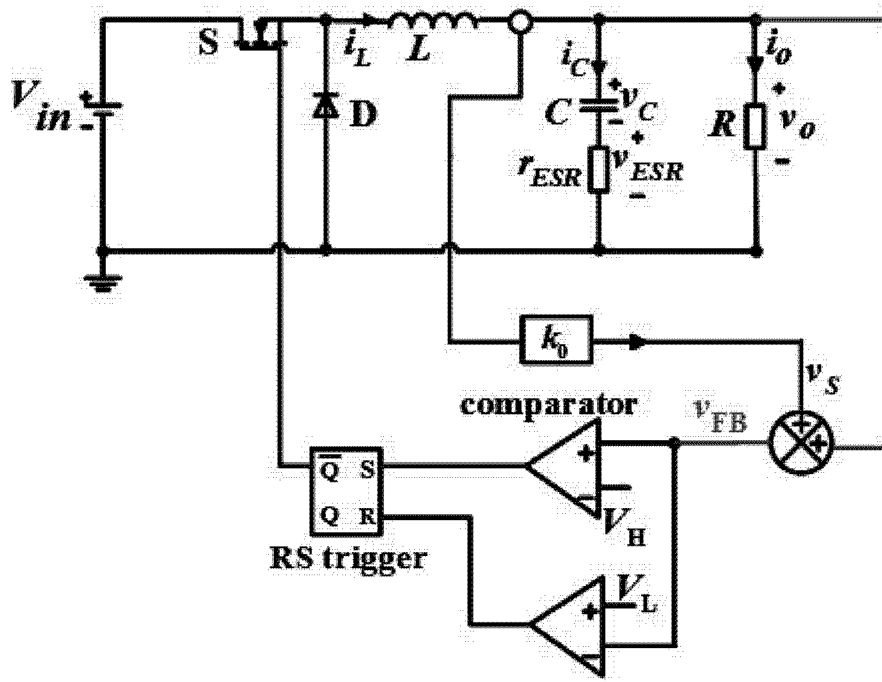


图 3

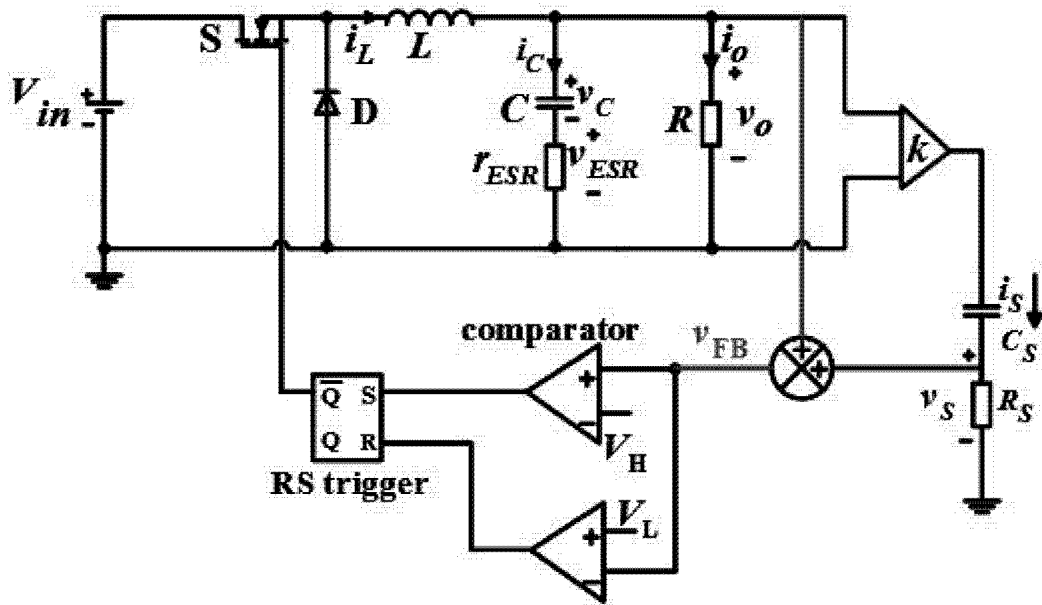


图 4

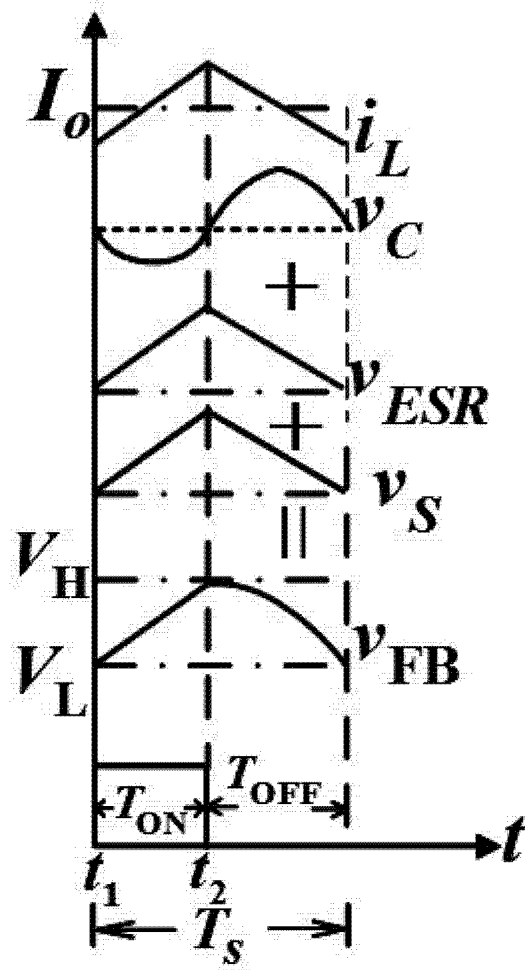


图 5



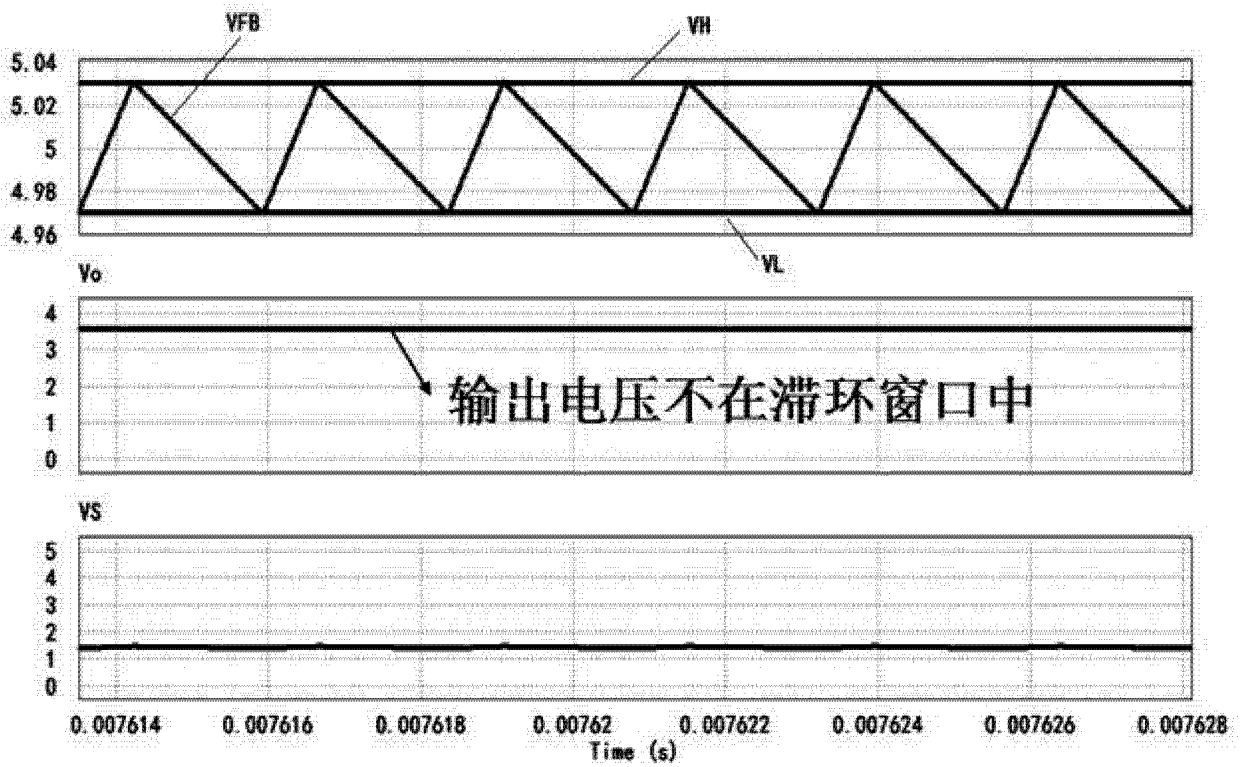


图 6

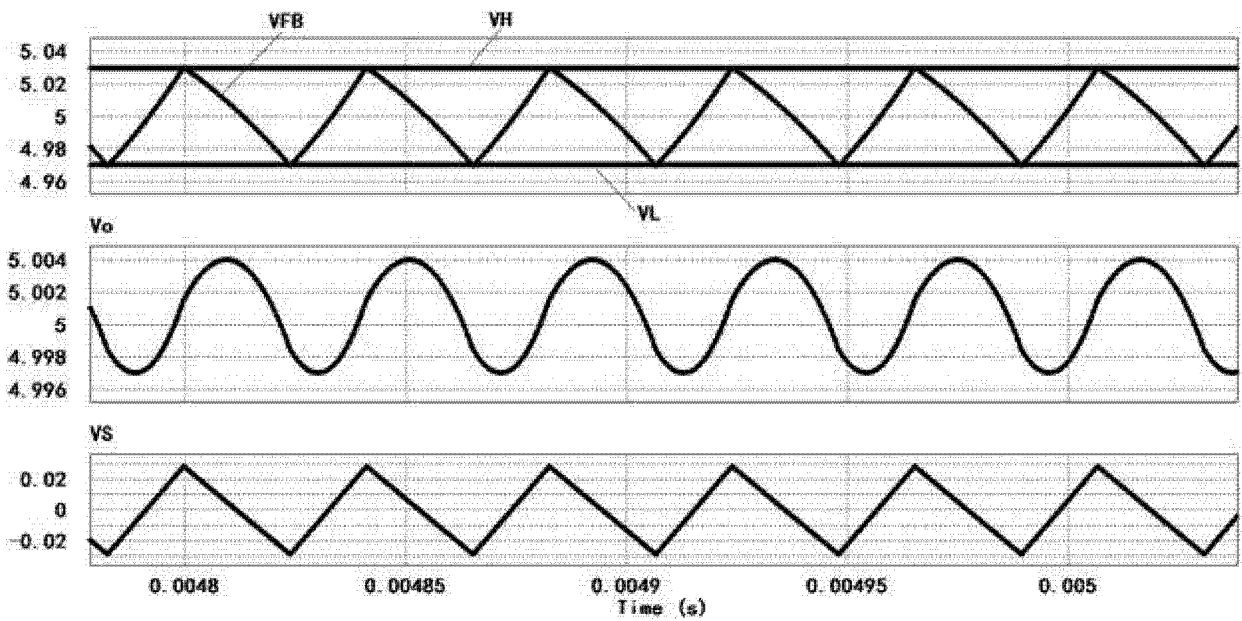


图 7