

# Z源升压变换器

王利民 钱照明 彭方正

浙江大学

**摘要:**传统 BOOST 拓扑由于理论上的缺陷,实用输出电压有限。为了克服这些理论上的缺陷,提出了 Z 源升压变换器(ZBC)。该 Z 源升压变换器用一个独特的 Z 源网络把输出整流器和输入电源连接起来。通过控制主开关导通比,该变换器在导通比小于 0.5 的时候就很容易达到任何想要的升压比。这能解决许多升压困难的问题。仿真结果证明了这一新性能。

**关键词:**Z 源 拓扑 导通比 升压因子

## Z-source Boost Converter

Wang Limin Qian Zhaoming Peng Fangzheng

**Abstract:** Because of theoretical barriers and limitations, the practical output voltage of the traditional boost topology is limited. To overcome these theoretical limitations, this paper presents a Z-source boost converter (ZBC). The Z-source boost converter employs a unique Z-source network to couple the output converter to the source input, and by controlling the switching on period of the main switch of the converter, any desired great boost factor can be easily obtained with a much smaller duty cycle that is always less than 0.5. Thus many boost problems can be solved. Simulation results demonstrate the new feature.

**Keywords:** Z-source topology duty cycle boost factor

### 1 引言

非隔离直流升压变换中,最受欢迎的拓扑是传统的 BOOST 拓扑,但是,该拓扑有自身的局限和障碍。举例说,当升压因子足够大的时候,主开关的导通比非常接近 1,此时实用电路会遇到控制、热、效率等方面的一系列问题。故实用输出电压很有限。Z 源升压变换器可以解决上述问题。

Z 源是一个崭新的拓扑,它在燃料电池逆变器和调速系统中的应用参见文献[1~3]。本文提出的 Z 源升压变换器可以从概念和理论上突破传统 BOOST 拓扑的局限。其升压因子为  $(1-D)/(1-2D)$ ,在  $D$  小于 0.5 的情况下,就可以在理论上输出任意直流电压、实际上输出高很多的直流电压。

### 2 Z源升压变换拓扑

图 1 为提出的 Z 源升压变换器的原理图。它将 BOOST 的输入电感用 Z 源拓扑<sup>[1]</sup>代替以连接输入电源和输出整流电路,并在 Z 源后面用 LC

滤波。基于电压型 Z 源拓扑内在的升压功能,该拓扑能提供比 BOOST 高很多的输出电压。

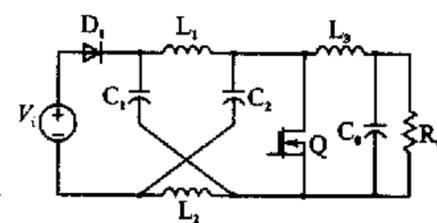


图 1 Z源升压变换器主电路

### 3 等效电路和工作原理

假设  $L_1$  和  $L_2$  有相等的很大电感值  $L$  且  $C_1$  和  $C_2$  有相等的很大电容值  $C$ ,故 Z 源拓扑是对称的。由对称性和等效电路,可以得到<sup>[1]</sup>

$$V_{C_1} = V_{C_2} = V_C \quad V_{L_1} = V_{L_2} = V_L \quad (1)$$

图 1 的拓扑工作情况分为两个状态。

开关导通状态:等效电路如图 2a,此时输入二极管反偏,使输入电源从电路断开,且负载由电容供给,输出滤波电感电流减小,设  $C_1$  和  $C_2$  电流参考方向向上,则

$$\begin{aligned} V_L &= V_C \quad V_d = 2V_C \quad V_s = 0 \\ I_L &= I_C \quad V_{L_3} = -V_o \end{aligned} \quad (2)$$

开关断开状态:等效电路如图 2b,输入二极管正向导通,Z 源的电感协助电源向负载供电,输出滤波电感电流增加,假设输出电压为  $V_o$ ,此时

$$\begin{aligned} V_L &= V_i - V_C \quad V_d = V_i \\ V_{L_3} &= V_C - V_L - V_o = 2V_C - V_i - V_o \end{aligned} \quad (3)$$

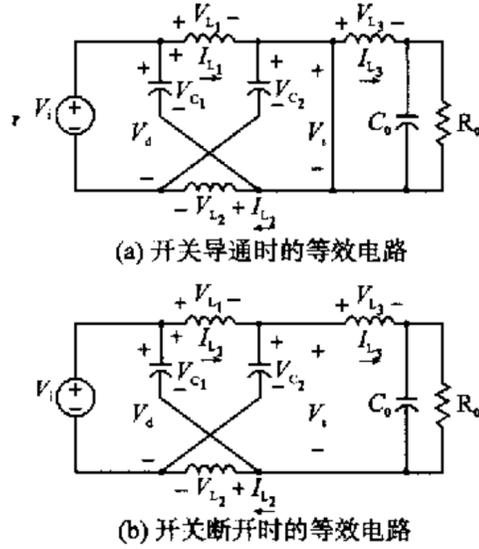


图 2 等效电路

综合设开关导通  $DT$ ,由稳态电感磁通守恒,各电感两端电压平均值都是 0,所以

$$\begin{aligned} V_L &= \bar{V}_L \\ &= [V_C DT + (V_i - V_C)(1-D)T]/T \\ &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

或 
$$\frac{V_C}{V_i} = \frac{(1-D)T}{(1-D)T - DT} = (1-D)/(1-2D) \quad (5)$$

又有

$$\begin{aligned} V_{L_3} &= -V_o DT + (2V_C - V_i - V_o)(1-D)T \\ &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

所以,用式(5)代入可得

$$V_o/V_i = (1-D)/(1-2D)$$

或 
$$V_o = [(1-D)/(1-2D)]V_i = V_C \quad (7)$$

即新的升压拓扑的升压因子为  $(1-D)/(1-2D)$ 。

#### 4 和传统升压电路的比较

这里把该新拓扑和 BOOST 的升压因子做比较,用 MATLAB 计算得图 3。图 3 中横坐标是导通比  $D$ 。纵坐标是升压因子  $B$ ,从左向右依次为 Z 源变换器和 BOOST 的曲线。由图 3 可见,在导通

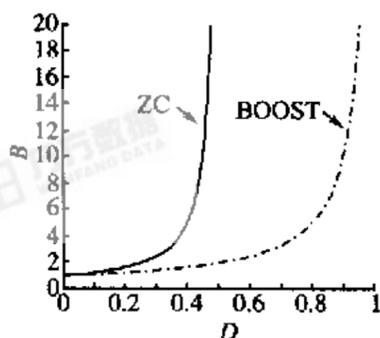


图 3 两拓扑升压因子  $B$  和开关导通比  $D$  的关系

比小于 0.5 的情况下,Z 源变换器理论上可以提供无限高的输出电压,且同样导通比下 Z 源变换器的输出远高于 BOOST。

#### 5 应力分析

对同样功率、同样输入输出电压的两种拓扑应用,其主开关承受的开关应力将有所不同。这里假设输出功率为  $P$ ,电路无损耗,输入电压为  $V_i$ ,输出电压为  $V_o$ 。且令传统 BOOST 变换器的主开关导通比为  $D$ ,流过的最大电流为  $I$ ,承受的最大反向电压为  $U$ ;令 Z 源升压变换器的主开关导通比为  $D_1$ ,流过的最大电流为  $I_1$ ,承受的最大反向电压为  $U_1$ ,由于  $L$  值很大,则

$$\frac{1}{1-D} = \frac{1-D_1}{1-2D_1} = \frac{V_o}{V_i} \quad D_1 = \frac{D}{1+D} \quad (8)$$

$$U = V_o = \frac{1-D_1}{1-2D_1} V_i \quad I \approx \frac{P}{V_i}$$

$$I_L \approx P/V_i \quad I_{L_3} \approx I_o \quad (9)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= 2I_L - I_{L_3} \\ &\approx 2(P/V_i) - I_o \\ &= (1+D)(P/V_i) \\ &= (1+D)I \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} U_1 &= 2V_C - V_i \\ &= 2V_o - (1-D)V_o \\ &= (1+D)U \end{aligned} \quad (11)$$

表 1 示出了本文提出的新拓扑和传统 BOOST 拓扑的开关应力比较。

表 1 两拓扑开关应力比较

	Z 源升压变换器	BOOST
开关导通比	$D/(1+D)$	$D$
电流应力	$(1+D)I$	$I$
电压应力	$(1+D)U$	$U$

#### 6 仿真验证

设输入 DC 24 V,输出 DC 110 V,输出功率 50 W。用 SABER 软件对该 Z 源变换器电路进行了仿真,结果如图 4 所示。图 4 中,从上到下依次是开关脉冲波形、输入电压、输出电压、电感电流和开关电流波形,其中,  $D$  设定在 0.437(但如果用 BOOST,此时  $D$  为 0.782)。

此时有:  $V_o = 110$  V,  $I_o = 0.455$  A,  $\bar{I}_L = I_i = 50/24 \approx 2.08$  A,且开关导通时,  $I_{switch} = 2I_{L1} - I_o$ 。而图 4 中,  $V_o = 109.99$  V,且可计算得  $\bar{I}_L \approx 2.12$  A,

(下转第 32 页)

换送到单片机。单片机另一作用是管理液晶显示器,该显示器的显示方式为中文显示,主要内容包括输出电压电流值、故障、系统的运行状态等。

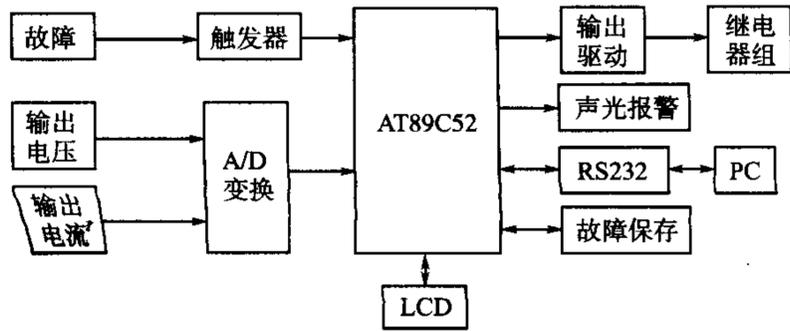


图5 基于单片机的监控电路结构

### 5 实验结果

图6~图9是开关放大器在不同频率下的输出波形

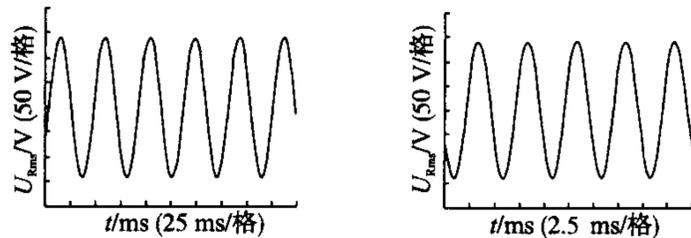


图6  $f=20\text{ Hz}$  的输出波形 图7  $f=200\text{ Hz}$  的输出波形

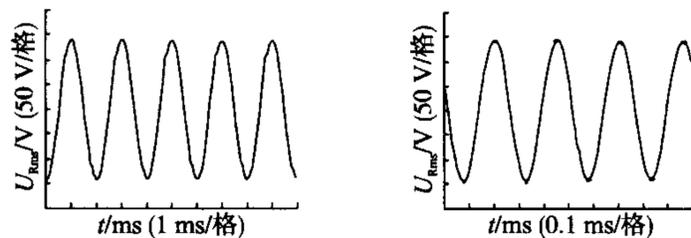


图8  $f=500\text{ Hz}$  的输出波形 图9  $f=3948\text{ Hz}$  的输出波形

出波形,电阻性负载,输出  $U_{\text{RMS}}=100\text{ V}$ 。实验参数为  $V_{\text{in}}=180\text{ V}$ ;  $L_1=L_2=33\text{ }\mu\text{H}$ ;  $L_3=1.17\text{ mH}$ ;  $C_{o1}=4.4\text{ }\mu\text{F}$ ;  $C_{o2}=C_{o3}=0.22\text{ }\mu\text{F}$ 。可以看出,输出电压从低频到高频波形比较稳定,而且纹波很小。实验结果表明,开关功率放大器性能良好。

### 6 结论

试验证明,采用全桥PWM技术的开关功率放大器具有效率高(大于90%),体积小,失真度低,信噪比高,容易实现多机并联使用,大大提高功率放大器的总容量。本文研制的功率放大器,已应用在电动振动台系统中,具有较好的应用前景。

#### 参考文献

- 1 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 北京:电子工业出版社,1998
- 2 林渭勋. 现代电力电子电路. 杭州:浙江大学出版社,2002
- 3 赵青,范洪峰,吕征宇. 单极性SPWM的两种控制方法与过零点输出特性比较. 电源技术应用,2004(3):133~137
- 4 万健如,林志强,杨帆等. PWM电压型逆变电路谐波仿真分析. 机电工程,2000(6):50~53

收稿日期:2004-12-22

修改稿日期:2005-08-15

(上接第29页)

$I_{\text{switch}} \approx 2I_{L1} - I_o$ 。仿真结果与理论分析吻合。

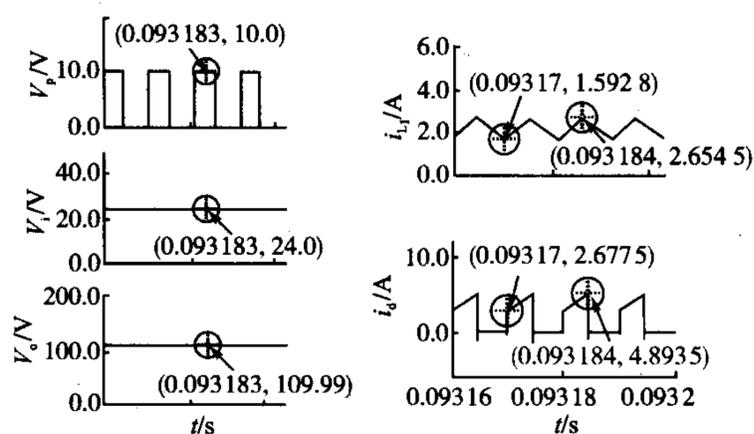


图4 仿真分析结果

### 7 结论

本文提出的新直流升压拓扑有以下优点:

1) 相比BOOST输出电压大大提高,为  $[(1-D)/(1-2D)]V_{\text{in}}$ ;

2) 导通比总小于0.5,双环控制中电流内环显然无需斜坡补偿;

3) 导通比总小于0.5,主开关的开关导通时间较短,开关截止时间长,有利于散热;

4) 拓扑简单,增加器件数量少,成本增加不多。

另外,该拓扑需要改进和提高的地方是主开关的电流、电压应力相比BOOST将变大,但不超过其1.5倍。

#### 参考文献

- 1 Peng F Z. Z-source Inverter. Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the, 2002,2:775~781
- 2 Fang Zheng Peng. Z-source Inverter. Industry Applications, IEEE Transactions on, 2003,39(2):504~510
- 3 Peng F Z, Yuan Xiao-ming, Fang Xu-peng et al. Z-source Inverter for Adjustable Speed Drivers. Power Electronic Letters, IEEE, 1(2), 2003,6:33~35

收稿日期:2004-12-22

修改稿日期:2005-08-22