

doi:10.3969/j.issn.1563-4795.2010.09.018

一种基于三电平的单级PFC电路设计

于乐

(西南交通大学电气学院, 四川 成都 610031)

摘要: 通过在多电平变换技术和功率因数校正技术两者之间寻找一个应用的契合点, 给出了一种零电压开关三电平单级功率因数校正电路拓扑的设计方法。该方法中的变换器由boost功率因数调节器和三电平谐振变换器组成。其中变换器控制方式由两个控制环路实现, 输出电压通过控制直流变换器开关频率来进行调节; 直流母线电压则通过控制boost调节器的占空比来调节。仿真分析表明, 运用该拓扑的变换器的功率因数较高; 并可在宽负载变化情况下提供可调节的输出电压以及一个稳定的直流母线电压。

关键词: 三电平谐振变换器; 功率因数校正; PFC零电压开关

0 引言

目前, 带有功率因数校正功能的开关变换器通常分为两级结构和单级结构两种。两级结构电路具有良好的性能, 但是元器件个数较多, 与没有PFC功能的电路相比成本会增加。而单级PFC变换器中PFC级和DC/DC级共用开关管, 只有一套控制电路, 同时可实现对输入电流的整形和对输出电压的调节。但是, 单级PFC电路上实际存在着一个非常严重的问题: 即当负载变轻、达到临界连续状态时, 多余的输入能量将对中间储能电容充电。这一过程会使中间储能电容两端的电压达到一个很高的值。这样, 在电路中, 对于90~265 V的交流电网, 该电压会达到甚至超过1000 V。就目前的电容技术和功率器件技术而言, 这么高的电压都是不实际的。因此, 降低母线电容电压、适应宽电压输入场合和负载变化, 已经成为单级功率因数校正技术的热点。

本文研究了适用于大功率单相单级变换器的电路拓扑及其控制方式, 提出了单级功率因数校正AC/DC变换器的设计方案。该PFC变换器基于一种三电平LCC谐振变换器拓扑, 整个变换器由boost功率因数调节器和三电平谐振变换器组成, 多电平谐振变换器可把开关管关断时的压降限制在二分之一直流母线电压。同时, 该变换器在宽

负载变化范围内, 还能够稳定地调节输出电压, 并获得稳定的直流母线电压。其变换器的控制方式由两个控制环路实现, 其中输出电压通过控制直流变换器的开关频率来调节; 直流母线电压则通过控制boost调节器的占空比来调节。

1 电路拓扑及工作原理

本文给出的三电平单级PFC的电路拓扑如图1所示。图中, 变换器输入boost电感同下方一对开关管直接相连, DC-DC部分由三电平LCC谐振电路构成。Boost电感可工作在CCM或DCM模式下。中间储能电容 C_{b1} 和 C_{b2} 的容量相等, 故可在电路稳定工作状态下均分输入直流电压, 并与箝位二极管 D_{c1} 和 D_{c2} 一起来降低开关管的电压应力。电路中开关管的工作时序如图2所示。

在分析变换器的工作模式前, 可先做如下假设:

- (1) 所有开关管、二极管、电感、电容均为理想器件;
- (2) 电容 C_{b1} 和 C_{b2} 足够大且相等, 其电压都为 $V_{in}/2$;
- (3) 输出滤波电容 C_o 足够大, 其电压为 V_o 。

基于上述假设, 在阶段1 $[t_0, t_1]$: 开关管S3和S4导通。Boost电感 (L_{in}) 储存能量, 电感电流线性增加。流经开关管的电流是谐振电路和boost

收稿日期: 2010-04-08

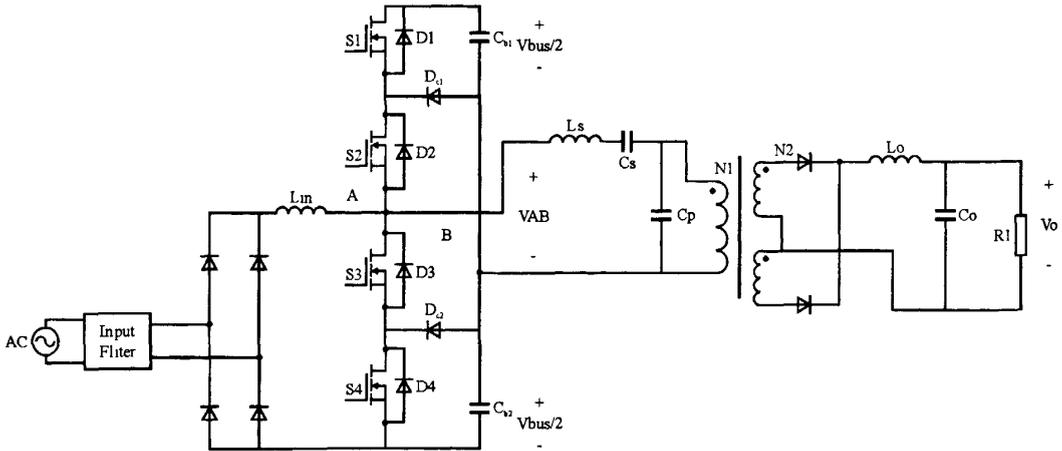


图1 三电平单级PFC变换器的电路拓扑

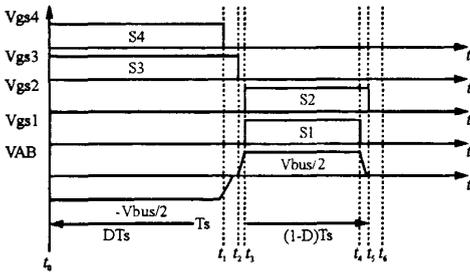


图2 PWM控制下的开关管工作时序

电感电流之和。谐振电路两端电压 V_{AB} 为 $-V_{bus}/2$;

阶段2 [t_1, t_2]: 开关管S4关断, 箝位二极管 D_{c2} 将其电压箝位于 $V_{bus}/2$ 。Boost电感电流将流经上方一对开关管并对其体电容放电。此时, V_{AB} 为零;

阶段3 [t_2, t_3]: 开关管S3关断 (由于其体电容被放电, S3将零电压关断), 电感电流继续对中间储能电容充电, S1、S2体电容放电, 待其完全放电后, 其体二极管导通。此时, V_{AB} 电压为 $V_{bus}/2$ 。

阶段4 [t_3, t_4]: 开关管S1和S2同时零电压导通。Boost电感电流和谐振电路电流同时流经S1、S2。此时 V_{AB} 电压不变, 仍为 $V_{bus}/2$;

阶段5 [t_4, t_5]: 开关管S1关断, 电压被箝位二极管 D_{c1} 箝位于 $V_{bus}/2$ 。谐振电流流经S2和 D_{c1} , 此时 V_{AB} 的电压降为零;

阶段6 [t_5, t_6]: 开关管S2关断, 谐振电流方向反转, 并对S3、S4体电容放电; 完全放电后, 其体二极管导通。直到下一个周期开始, S3、S4将零电压导通。

2 控制策略及稳态分析

2.1 控制策略

本文中的变换器由多个开关管构成, 其控制变量也不止一个。因此, 在设计时, 可以同时采用谐振电路的开关频率和boost电路的占空比两个控制变量来分别达到控制输出电压和直流母线电压的目的。本文分别选取boost电路的占空比来获得需要的直流母线电压。采用这种控制方式的优点是, 无论负载如何变化, 都能得到所需要的直流母线电压。

2.2 boost模式

本文设定的boost电路工作在DCM状态下, 这样, 当boost电感充电时, 电感电流将从零开始线性增加, 其电流峰值为:

$$i_{Linpeak} = \frac{V_{in} D_k T_s k}{L_{in}} \quad (1)$$

这里, V_{in} 为二极管整流桥整流后的直流电压, $V_{in} = |V_m \sin \omega_1 t|$, ω_1 是输入交流电压的角频率 (且 $i_{Lin} = i_{in}$)。k为整数, 每逢输入电压变化半周期取值。

Boost电感放电时, 电流将减小到零, 故有:

$$0 = i_{Linpeak} - \frac{(V_{bus} - V_{in}) d_k T_s}{L_{in}} \quad (2)$$

这里, $d_k T_s$ 为电流减小到零所需的时间, 其中:

$$d_k = \frac{V_{in} - V_{bus}}{V_{bus} - V_{in}} D_k \quad (3)$$

因此, 在一个周期内, 其平均电流为:

$$I_{L_{in(ave)}} = \left[\frac{|V_m \sin \omega_1 t|}{L_{if_s}} + \left(\frac{|V_m \sin \omega_1 t|^2}{(V_{bus} - |V_m \sin \omega_1 t|) L_{if_s}} \right) \right] \frac{D_k^2}{2} \quad (4)$$

由于直流母线电压的大小可根据不同的交流输入电压峰值而变化,其可表示为:

$$V_{bus} = 1.22V_m + 195 \quad (5)$$

因此,当输入交流电压的范围是 $90V_{rms} \sim 265V_{rms}$ 时,其直流母线电压的大小为 $350 \sim 650V$ 。

3 仿真结果

仿真时,假设经过上述分析所设计的一个单级PFC电路的具体电路参数为:输出电压 $48V$,功率 $2.3kW$, $V_{in} = 90 \sim 265V_{rms}$, $L_r = 7\mu H$, $C_s = 10nF$, $C_p = 15nF$, $N_1/N_2 = 4$, $L_{in} = 0.95\mu H$,储能电容 $C_{b1} = C_{b2} = 4700\mu F$ 。

若图3所示为其输入电压和输入电流的波形,且此时的交流输入电压 V_{in} 为 $265V_{rms}$ 。那么,图4所示即为负载变化情况下的功率因数及直流母线电压的仿真图。由图4可见,在不同的负载情况下,直流母线电压基本维持在 $650V$ 左右;同时,该变换器也拥有较高的输入功率因数。

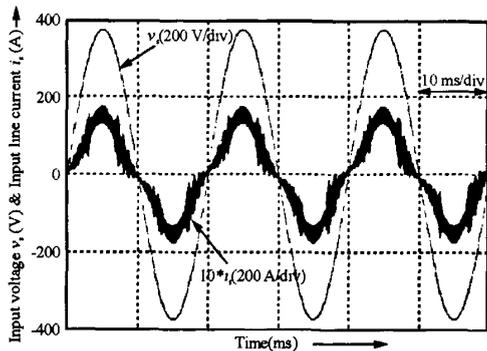
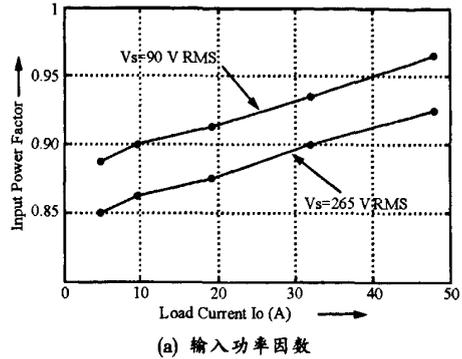


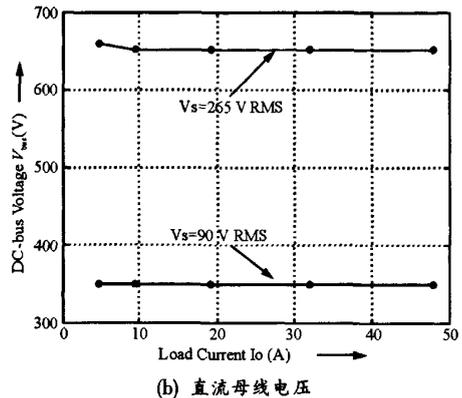
图3 输入电压及滤波后输入电流波形

4 结束语

本文研究并分析了一种较为新颖的单级功率因数校正电路的拓扑结构,该变换器由三电平谐振变换器联合boost电感组成。变换器的输入输出隔离,功率因数高,开关管电压应力小,并能实现零电压开关。仿真结果表明,该电路的输出电压稳定,同时,即使在轻载情况下,其直流母线电压仍能保持在稳定的范围内。从而证明了文中电路和控制方式的高效性。



(a) 输入功率因数



(b) 直流母线电压

图4 变换器的输入功率因数及直流母线电压图

参考文献

- [1] 周志敏,周纪海,纪爱华.开关电源功率因数校正电路设计与应用[M].北京:人民邮电出版社,2004.
- [2] X. Ruan, L. Zhou, & Y. Yan, "Soft Switching PWM Three Level Converters", IEEE Trans. On Power Electronics, vol.16, No.5, Sept.2001, pp. 612-632.
- [3] F. Canales, P. Barbosa & F. Lee, "A High Power Density DC/DC Converter for High Power Distributed Power System", Proceedings of Power Electronics Specialists Conference (PESC) 2003, pp. 11-18.
- [4] Y. Gu, Z. Lu & Z. Qian, "Three Level LLC Series Resonant DC/DC Converter", Proceedings of Applied Power Electronics Conference.(APEC) 2004, pp 1647-1652.
- [5] R.Steigerwald,"A Comparison of Half Bridge Resonant Converter Topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.3,No.2, April 1988,pp. 174-182.
- [6] M.Daniele, P Jain,& G. Joos,"A Single Stage Power Factor Corrected AC/DC Converter", IEEE Trans. On Power Electronics, vol.14,No.6,Nov.1999,pp.1046-1055.
- [7] 阮新波.三电平直流变换器及其软开关技术[M].北京:科学出版社,2006

一种基于三电平的单级PFC电路设计

作者: [于乐](#)
作者单位: [西南交通大学电气学院, 四川, 成都, 610031](#)
刊名: [电子元器件应用](#)
英文刊名: [ELECTRONIC COMPONENT & DEVICE APPLICATIONS](#)
年, 卷(期): 2010, 12 (9)

参考文献(7条)

1. 阮新波 [三电平直流变换器及其软开关技术](#) 2006
2. M. Daniele;P. Jain;G. Joos [A Single Stage Power Factor Corrected AC/DC Converter](#)[外文期刊] 1999(06)
3. R. Steigerwald [A Comparison of Half Bridge Resonant Converter Topologies](#)[外文期刊] 1988(02)
4. Y. Gu;Z. Lu & g. Qian [Three Level LLC Series Resonant DC/DC Converter](#) 2004
5. F. Canales;P. Barbosa;F. Lee [A High Power Density DC/DC Converter for High Power Distributed Power System](#) 2003
6. X. Ruan;L. Zhou;Y. Yan [Soft Switching PWM Three Level Converters](#) 2001(05)
7. 周志敏;周纪海;纪爱华 [开关电源功率因数校正电路设计与应用](#) 2004

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzyqjyy201009018.aspx