

隔离交错并联双管正激 Boost 变换器及其吸收电路分析

梁永春 严仰光 南京航空航天大学航空电源重点实验室 (南京 210016)

摘要:首先介绍一种新的隔离 Boost 电路拓扑。接着基于隔离 Boost 电路由于漏感引起的浪涌电压,针对吸收母线浪涌电压,尝试了 RCD 吸收电路和 LCD 吸收电路。实验在反映吸收电路抑制效果的同时还验证了新拓扑的可行性。

叙词:隔离变换器 交错并联 双管正激 吸收电路

1 引言

对于隔离 Boost 电路,因为它具有隔离输出,多回路输出,更高的可靠性等等优点,被人们广泛地关注着。但是它无法避免的一个缺点就是因为隔离变压器漏感的存在,当 Boost 电感电流换流到隔离变压器原边时会出现巨大的浪涌电压。对于这个问题,大多论文采用的是 RCD 吸收和有源箝位吸收。在这里我们分别尝试了 RCD 吸收和 LCD 吸收。从实验结果看 RCD 吸收浪涌电压的能力非常好,但是因为电阻上不断损耗能量,在高频工作情况下,RCD 吸收会大大减小工作效率,因而不适合的。对于有源箝位吸收,它虽然可以实现 ZVS。但是,首先它增加了一个开关管,也就增加了控制电路的复杂性,并且增加了成本。而本文尝试的 LCD 吸收是无损吸收,它只是在关断的一部分时间内参与电路工作,对于整个拓扑的工作状态并无太大影响。

1 介绍整个电路拓扑的工作情形

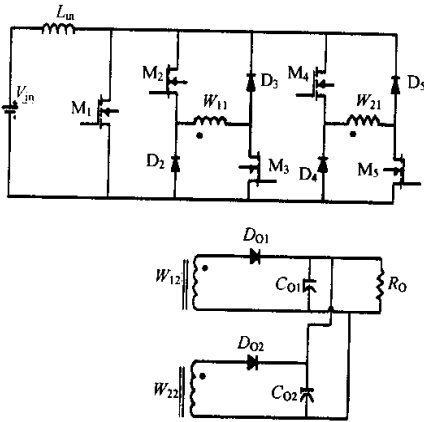


图 1 隔离交错并联双管正激 Boost 变换器电路拓扑

M_1 是电路的主管,相当于 Boost 电路的开关管。 M_2 和 M_3 是一路双管正激电路的开关管,50%的固定占空比导通。 M_4 和 M_5 是另一路双管正激电路的开关管,50%的固定占空比导通。两路双管正激电路采取交错并联。彼此相差 180 度,并且分别与主

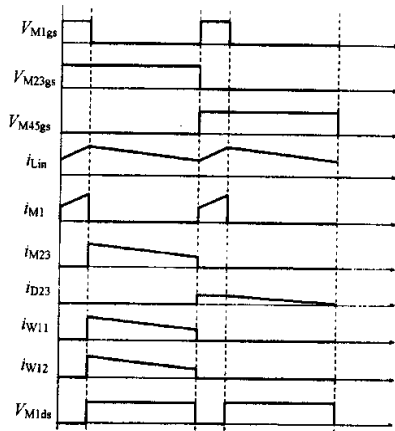


图 2 隔离交错并联双管正激 Boost 变换器工作原理管同步导通。

工作方式如图 2 所示(假设元器件为理想元器件)。我们以 M_1 工作频率为整个电路拓扑的工作频率,把主管漏源电压为低的时间记为 DT ,为高的电压记为母线电压 V_s ($V_s = nV_o$)。以 M_2 和 M_3 的一路双管正激电路为例。在一个周期开始的时候,在稳态工作情况下, M_1 、 M_2 、 M_3 同步导通,电源通过 M_1 给电感充电,同 Boost 电路开关管导通的工作情况完全相同。当 M_1 关断时,电感电流流经 M_2 、 M_3 和 W_{11} ,母线电压 V_s 加到变压器原边 W_{11} 两端。副边整流二极管导通,电源和 Boost 电感能量通过变压器向负载传送。直到下一个周期开始, M_1 、 M_4 、 M_5 同步导通,工作情况与上一个周期相同。

根据 Boost 电感磁通平衡的理论,得出整个拓扑的输入输出电压基本关系式是:

$$V_o = \frac{V_{in}}{n \cdot (1-D)}$$

2 浪涌电压产生原因

当主管关断时,Boost 电感中的电流换流到一路双管正激电路(开关管开通),因为变压器漏感存在,这一路双管正激电路的

变压器原边电流不会瞬时建立,而是有一段延时,也就是在主管关断时刻和一路双管正激电路(开关管导通)开始工作时刻之间有一个死区时间。在这段死区时间,电路的工作状态相当于 Boost 电路的开路状态。此时,Boost 电感和寄生电容有大幅度的振荡,产生巨大的浪涌电压。

3 RCD 吸收电路

RCD 吸收电路由电阻 R 、电容 C 和二二极管 D 组成。如图 3。工作模式如下:当主管关断时,电感电流沿 RCD 吸收电路的二极管和电容流回到输入电源。即给 RCD 吸收电路的电容充电,电容电压等于母线电压 V_s 。因为电容选得比较大,母线电压被箝位住。当交错并联双管正激电路的变压器原边电流建立起来以后,RCD 吸收电路的电容 C 通过电阻 R 释放能量到输入电源端。

一秒钟内,吸收电路中存储的能量记为 $\frac{1}{2} CV_s^2 f_s$ 。为了更好的箝位母线电压,选用的电容是 $1\mu F$,因为吸收电路不断地通过电阻释放能量到输入电源,所以 RCD 吸收电路损耗的能量非常大。这里,我们选用的电阻是 $200\Omega 50W$ 。显然这是不合理的,尽管箝位效果非常好。

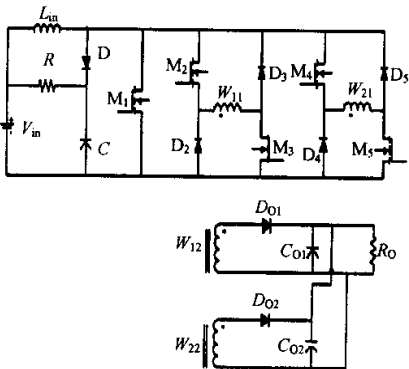


图 3 RCD 吸收的隔离 Boost 交错并联双管正激电路

4 LCD 吸收电路

假定电路工作在稳定状态。当主管开通时,从 C_r , 主管, L_r 到 D_2 , 形成谐振回路, 谐振半个周期, 使得 C_r 电压反向到 $-V_{low}$ (遵循余弦变化), L_r 上电流谐振到最大并减小到零(遵循正弦变化), 给下一次 C_r 充电准备一定空间。当主管关断时, Boost 电感首先给主管寄生电容充电到 $V_{in} - V_{high}$, 接着同时给 C_r 充电, 直到 C_r 上电压充电到 $+V_{high}$ 。其余工作与主电路拓扑工作方式完全相同。其中, 参数 C_r, L_r 的选择对谐振电路工作状态有很大的影响。这里, 我们选择 C_r, L_r 使得 $\pi \sqrt{L_r C_r} < 0.5\mu s$, 其中 $0.5\mu s$ 是主管最小导通时间。

LCD 因为是无损吸收, 所以适于高频工作。5 实验及

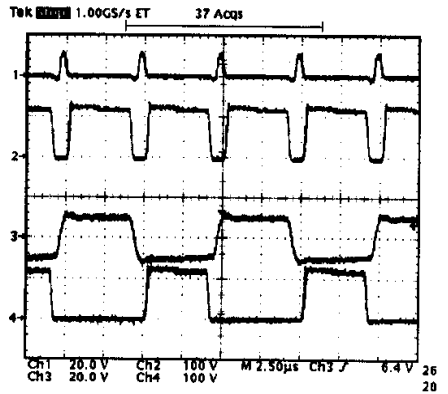


图 4 RCD 吸收电路主要试验波形

1. 驱动 2. 主管 DS 3. forward 驱动 4. forward DS

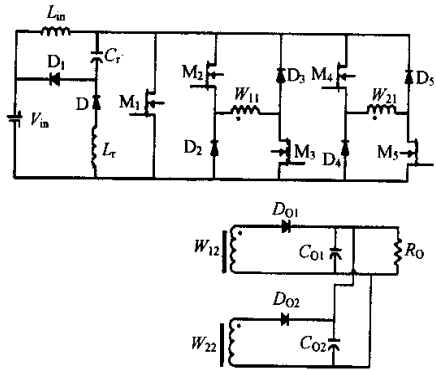


图 5 LCD 吸收的隔离 Boost 交错并联双管正激电路

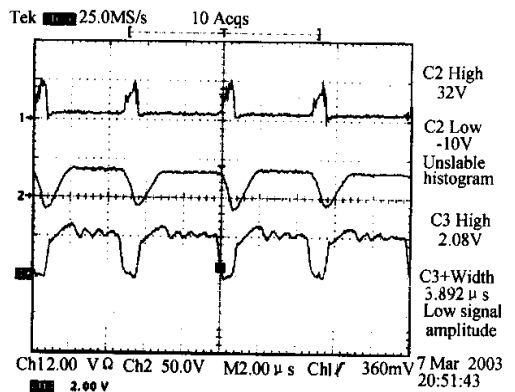
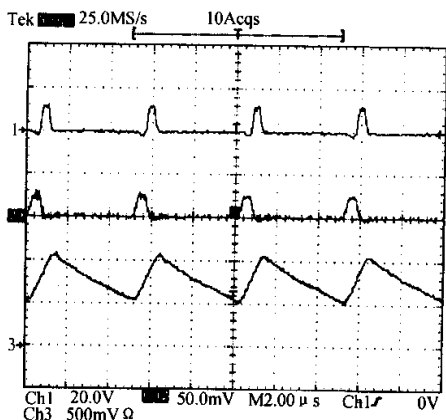


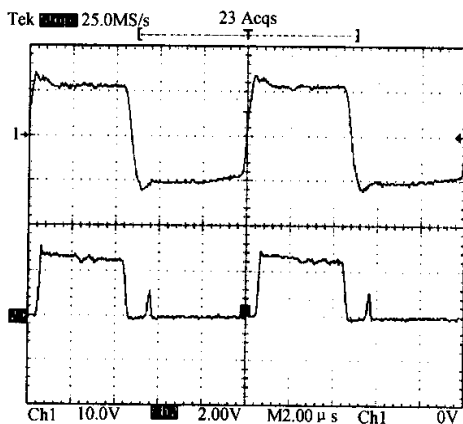
图 6 LCD 吸收电路的主要实验波形

1. I , 电流 2. V , 电压 3. 主管 DS



上图为主管驱动信号和 ZVT 驱动号驱动信号

图 7 Boost 电感电流波形



上图为 forward 驱动信号

图 8 forward 电路二极管电压波形

结果

变换器主电路拓扑如图 1 所示,开关频率 200kHz,单相交流(50Hz)整流供电。输入整流电压 $90V \pm 10\%$,输出电压 10V,输出电流 10A(阻性负载)时的实验波形如图 4.6~8 所示。图 4,8 为表明变换器开关管和二极管电压应力为母线电压 V_s ,forward 电路各管自然实现 ZVT。图 6 表明,变换器工作在连续状态。

6 结论

理论分析和实验结果基本一致,本文的工作主要在于:

(1)验证了新的变换器拓扑。它具有各管电压应力低;forward 管自然实现 ZVT;因为使用交错并联技术,有效的减小了隔离 Boost 变换器漏感的影响。

(2)尝试了 RCD 吸收和 LCD 吸收。其中 RCD 吸收适合于低压工作状态;LCD 吸收适合高频高压工作状态。

参考文献

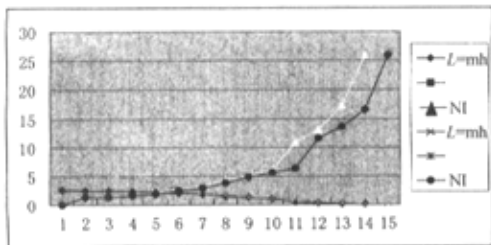
- [1] K. Harada and H. Sakamoto "Switched snubber for high frequency switching" [R]. IEEE PESC Conference record 1990, pp. 181 - 188
- [2] M. Domb, R. Redl and N. O. Sokal, "Nondissipative turn - off snubber alleviates switching power dissipation, second - breakdown stress and Vce overshoot" [R]. IEEE PESC'82 Record, pp. 445 - 454
- [3] 阮新波、严仰光 "直流开关电源的软开关技术", 科学出版社, 2000 年

作者简介

梁永春,女,博士研究生,1973 年 12 月生。

严仰光,男,教授,博士生导师,1935 年 3 月生。

(上接第 103 页)



图表 A,电感量与 NI 对照

参考文献

- [1]《现代高频开关电源实用技术》刘胜利编著
- [2]《无线电原理》中央军委通信部编辑出版(1953 年)

作者简介

黄永富,《国际电子变压器》编辑委员会委员、中国电源学会变压器电感器专业委员会委员。目前,正从事台阶式和斜坡式气隙的变压器的开发工作,并准备开发不漏磁变压器。

