

本身并没有消耗能量。从能量转换的过程来看:

在  $t_4$  时刻,变压器的漏感能量最大,为  $1/2 L_k (I_o/K)^2$ 。开关模式 5 中,漏感能量全部转移至结电容和箝位电容中,其中转移到结电容上的能量为:

$$E_1 = 2 \times \frac{1}{2} C_{s1} U_{C_{s1}}(t_5)^2 - 2 \times \frac{1}{2} C_{s1} \left(\frac{U_{in}}{2}\right)^2$$

$t_5$  时刻,变压器的励磁能量最大,为  $1/2 L_M I_M^2$ 。在开关模式 6 中,有一部分励磁能量转移到结电容和箝位电容中。其中转移到结电容上的能量为:

$$E_2 = 2 \times \frac{1}{2} C_{s1} U_{in}^2 - 2 \times \frac{1}{2} C_{s1} U_{C_{s1}}(t_5)^2$$

$t_6$  时刻,励磁能量为  $1/2 L_M I_M(t_6)^2$ 。在开关模式 7 中,这部分励磁能量全部转移到电源系统中,因而箝位电容所吸收的总能量为:

$$\begin{aligned} E &= f \left[ \frac{1}{2} L_k \left(\frac{I_o}{K}\right)^2 + \frac{1}{2} L_M I_M^2 - \frac{1}{2} L_M I_M(t_6)^2 - E_1 - E_2 \right] \\ &= f \left[ \frac{1}{2} L_k \left(\frac{I_o}{K}\right)^2 + \frac{1}{2} L_M I_M^2 - \frac{1}{2} L_M I_M(t_6)^2 - \frac{3}{4} C_{s1} U_{in}^2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可以看出,  $E$  与开关频率  $f$  成正比,这就是 RC 或 RCD 的双管正激式变换器难以实现高频化的原因。

### 5 实验结果

具有无损耗缓冲电路的变换器与传统的双管正激式变换器及加了 RC 或 RCD 的双管正激式变换器相比,总损耗明显减小,效率显著提高。

表 1 各种类型的双管正激式变换器损耗比较

变换器类型	开关损耗 /W	箝位网络损耗 /W	总损耗 /W
传统的双管正激式变换器	34	0	34
RC 或 RCD 的双管正激式	16	22	38
无损耗缓冲的双管正激式	16	0	16

图 5 给出了输入电压  $U_{in}$  为 420 V、输出电压为 55 V、输出电流为 50 A 时,开关管  $Q_2$  上的电压  $U_{ce2}$  的波形。从该图可以看出:

(1)在开关管开通时,  $U_{ce2}$  迅速下降,而在开关管关断时,  $U_{ce2}$  缓慢上升,使开关管工作在软开关的条件下,有效地降低了开关损耗。

(2)开关管关断时,开关管上没有出现大的浪涌电压,  $U_{ce2}$  被有效地箝位于  $U_{in}$ ,因而开关管上的电压应力较小。实验中选用的是电压等级为 500 V 的 MOSFET。由于 MOSFET 的电压等级越小,其通态电阻越小,这样就有效地降低了开关管的通态损耗。

(3)在关断的暂态过程中,电压  $U_{ce2}$  有一个小的振荡过程,这是因为整流二极管  $VD_5$  反向恢复而产生的。文献<sup>[4]</sup>对此进行了详细的分析,本文不作讨论。

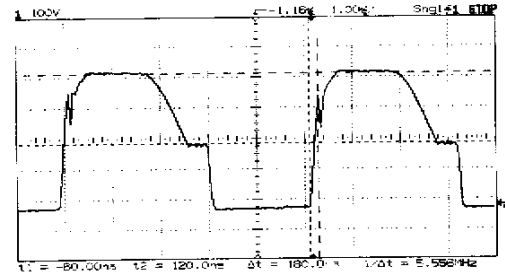


图 5 开关管  $Q_2$  上的电压  $U_{ce2}$  的波形

### 6 结束语

经实验验证,这种无损耗缓冲的双管正激式变换器能有效地降低开关管的开关损耗,并能将变压器漏感所储存的能量全部返回到输入电源中,并且该电路能使变压器的励磁电流反向,从而大大的提高了变压器磁芯的利用率,有利于提高效率,降低成本。该电路适用于大功率开关电源的 DC-DC 变换部分。

#### 参考文献

- 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术. 北京:科学出版社,2000
- 杨旭,王兆安. 辅助开关零电流关断的零电压过渡 PWM 正激电路. 电力电子技术,1999,33(3):20~22
- N. Machin and J. Dekter. New Lossless Clamp for Single Ended Converters. INTELEC Proceedings, 1998
- Eum-Soo Kim, Kee-Yeon Joe, Young-Bok Byun, Yoon-Ho Kim. An Improved Soft Switching Forward DC/DC Converter Using Energy Recovery Snubber. INTELEC Proceedings, 1997