

一种零电压转换PFC升压变换器设计

余侃民, 魏军, 张恩利

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077)

摘要: 提出了一种带有源箝位的 ZVT-PWM 升压 PFC 变换器。详细分析了该变换器的工作原理, 讨论了电路的参数。进行了软件仿真, 并在一台功率为 3 kW 工作频率为 100 kHz 的通信开关电源装置上进行了实验验证。仿真和实验结果都证明了这种变换器不仅可实现主开关管的零电压转换和辅助开关管的零电流开关, 而且开关管的电压电流应力非常小, 同时变换器效率可高达 92%。

关键词: 变换器; 软开关; 有源箝位; 零电压转换; 零电流开关

中图分类号: TN86 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)03-0053-03

在单相功率因数校正变换器的拓扑结构中, 单开关 PWM 升压变换器因其突出的优越性而在近些年被广泛应用于各类功率电子系统中。但同时, 由于开关工作频率不断提高所带来的诸如开关损耗、电磁干扰等问题也日益严重, 这些问题严重得影响了变换器工作的可靠性和频率的提高^[1]。近些年先后提出的零电压及零电流软开关技术^[1~6], 为解决上述问题提供了一条理想途径。

本文提出了一种带有源箝位的零电压转换(ZVT) PWM 功率因数校正变换器, 它采用了有源箝位技术, 且电感和电容工作在谐振模态, 从而可以获得软开关条件。该变换器可在固定频率下实现主开关管的零电压开关, 并且能够在很宽的输入电压和负载条件下实现辅助开关管的零电流开关, 从而降低了开关损耗, 提高了变换器的效率和工作可靠性。

1 工作原理

图 1 所示为本文所提出 PFC 变换器的工作原理图。为了获得高功率因数, 采用了升压拓扑结构。

为了实现了主开关管的零电压关断, 在主开关 S_1 上并联了一个吸收电容 C_s 。PFC 变换器的一个完整工作周期可以分为 6 个不同的工作模态。图 2 给出了变换器在 6 个工作模态下的等效电路图。在对 6 个工作模态加以分析之前, 先做以下假设: t_0 时刻以前, 谐振电容 C_r 的 V_{cr} 的初始值为负载电压的两倍, 即 $V_{cr} = 2V_o$; 谐振电感 L_r 上的电流初始值 I_{Lr} 为 I_i 。

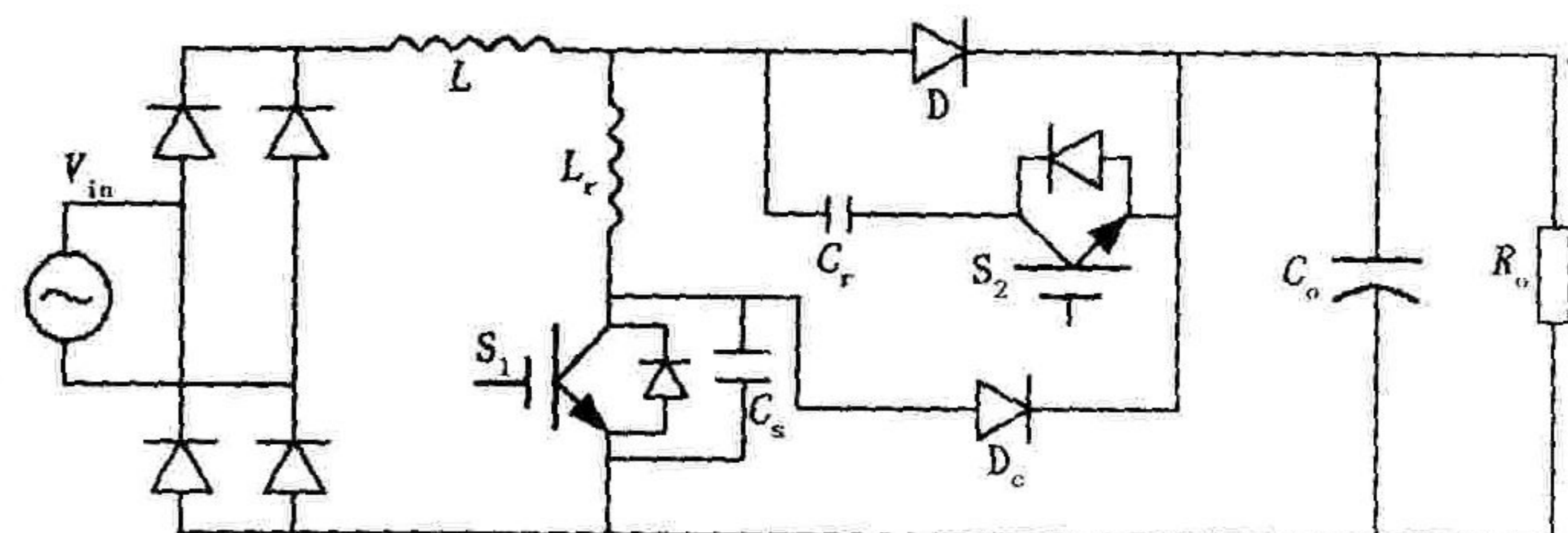
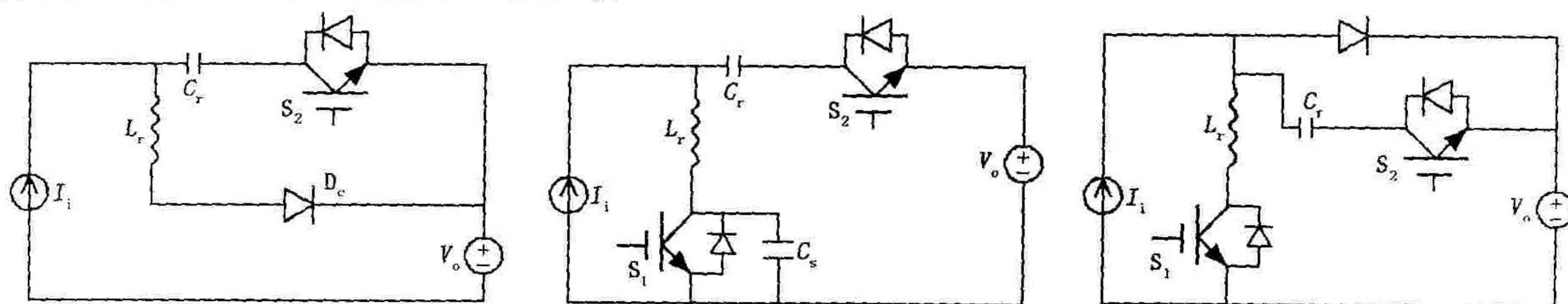


图 1 ZVT PFC 变换器原理图



(a) 模态 1 ($t_0 \sim t_1$)

(b) 模态 2 ($t_1 \sim t_2$)

(c) 模态 3 ($t_2 \sim t_3$)

收稿日期: 2004-11-03

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 余侃民(1963-), 男, 湖北武汉人, 高级工程师, 主要从事无线电通信技术研究。

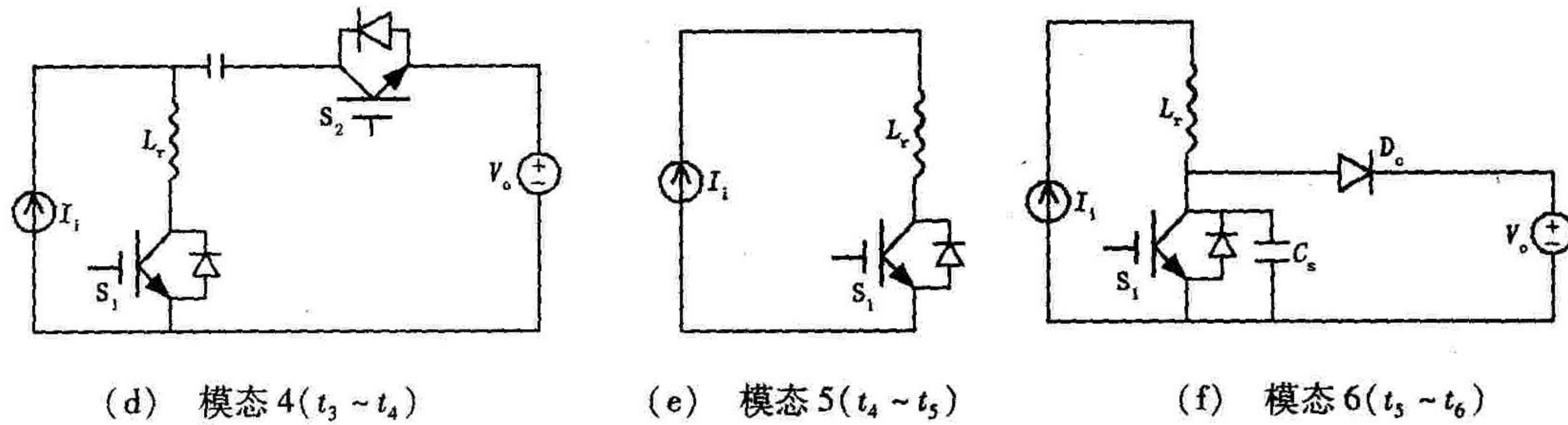


图2 变换器的6个工作模式

· 模式1($t_0 \sim t_1$):

在 t_0 时刻以前,主开关管 S_1 关断,辅助开关管在 t_0 时刻导通。电感 L_r 和电容 C_r 开始谐振,电容 C_r 上电压 V_{cr} 和电感电流 I_{Lr} 开始按下面两式规律变化。

$$V_{cr}(t) = V_{cro} \cos(\omega_r t) \quad (1)$$

$$I_{Lr}(t) = \frac{V_{cro}}{\sqrt{L_r/C_r}} (1 - \sin(\omega_r t)) \quad (2)$$

其中, $\omega_r = 1/\sqrt{L_r C_r}$

· 模式2($t_1 \sim t_2$):

在 t_1 时刻,电感电流 I_{Lr} 按式(2)规律减小到零,同时二极管 D_c 关断。吸收电容 C_s 、谐振 C_r 和电感 L_r 共同产生谐振,电容 C_s 放电,电感电流 I_{Lr} 改变方向。

$$V_{cs}(t) = V_o - K \sin(\omega_r t) \quad (3)$$

$$K = V_{cr}(t_1) \sqrt{\frac{C_r}{C_r + C_s}} \sqrt{\frac{1}{L_r \times C_s}} \quad (4)$$

· 模式3($t_2 \sim t_3$):

在 t_2 时刻,电容上的电压 V_{cs} 减小为零,主开关管在零电压的条件下导通。电感 L_r 和电容 C_r 谐振,电容 C_r 继续放电直到电容上的电压 V_{cr} 减小到零,此时二极管 D 导通。之后,辅助开关 S_2 在零电流条件下关断,电感电流 I_{Lr} 线性减小到零。然后电感电流 I_{Lr} 再次改变方向并线性增加。在 t_3 时刻,其值再次达到 I_1 。

· 模式4($t_3 \sim t_4$):

在 t_3 时刻,二极管 D 关断,电感 L_r 和电容 C_r 开始谐振,并对电容 C_r 充电。该工作过程与工作模式1对应。

· 模式5($t_4 \sim t_5$):

在 t_4 时刻,电容上的电压 V_{cr} 达到最大值 $2V_o$,电感电流 I_{Lr} 减小到零,PFC 电路进入稳定工作状态。

· 模式6($t_5 \sim t_6$):

由于吸收电容 C_s 的存在,在 t_5 时刻,主开关实现了零电压关断,电流源 I_1 对电容 C_s 充电,电容电压 V_{cs} 线性增加,直到其值为 V_o ,即 t_6 时刻。此时二极管 D_c 开始导通。至此,一个完整的工作周期结束,下一个工作周期开始。

2 仿真及实验结果

为验证上述分析过程的正确性,利用 Pspice 对该 ZVS - PWM PFC 升压变换器作了仿真分析,仿真条件如下:

输出直流电压 $V_o = 400$ V;开关频率 $f = 100$ kHz;谐振电容 $C_r = 15$ nF;吸收电容 $C_s = 1.0$ nF;谐振电感 $L_r = 5$ μ H;主开关 S_1 :IRFP460;辅助开关 S_2 :IRFP840;二极管 D :MUR890;箝位二极管 D_c :MUR3040;输出电容 $C_o = 1000$ μ F。

仿真波形如图3、图4所示,分别为满载和轻载条件下主开关 S_1 的电压、电流和主开关管 S_1 及和辅助开关管 S_2 的驱动信号的仿真波形。从波形图3中可以看出,主开关管工作于固定频率,并且实现了零电压开关。同时从图4看出,辅助开关管也实现了零电流转换和二极管的软关断。

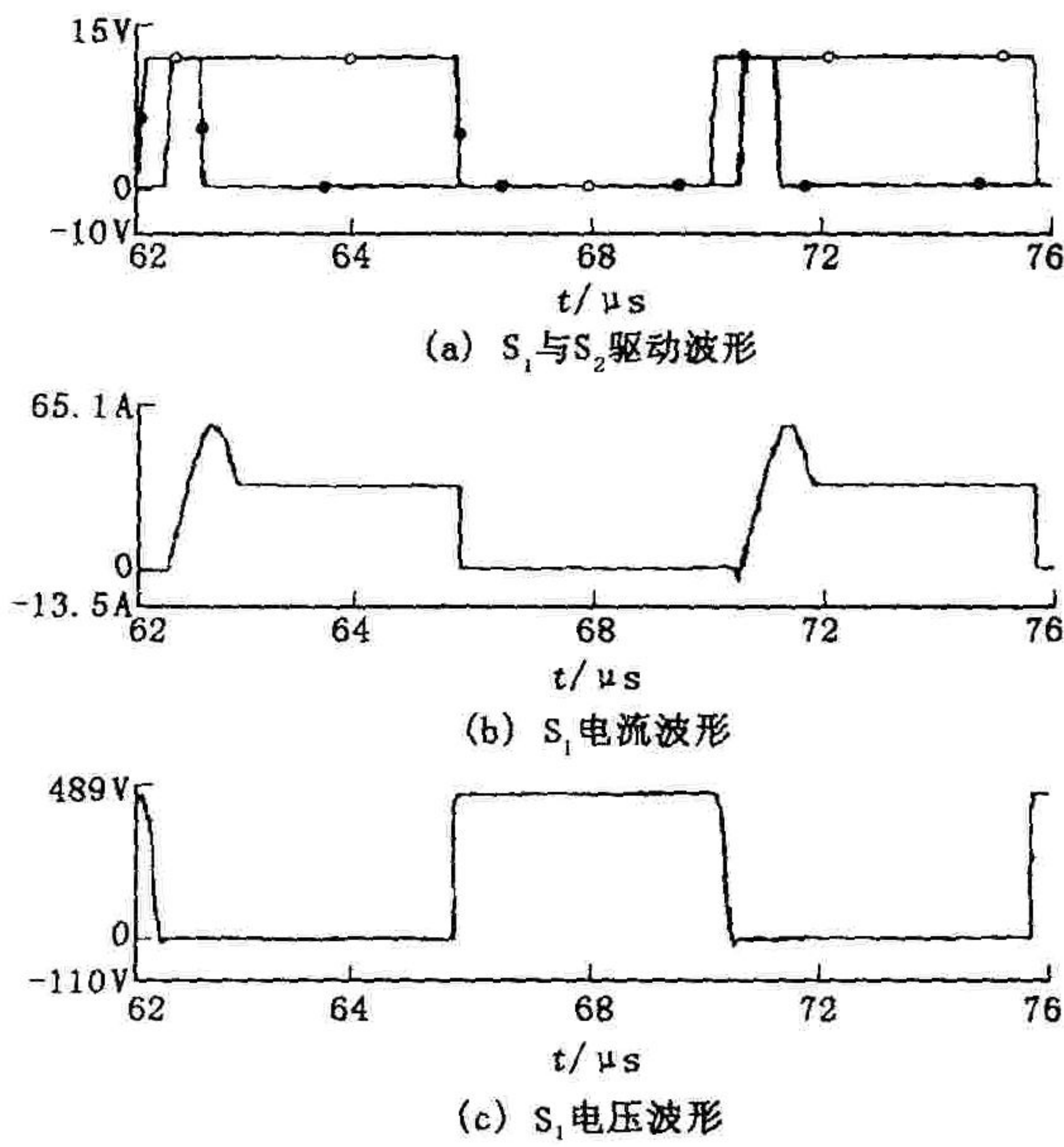


图3 满载条件下主开关电压、电流波形及主开关与辅助开关驱动波形

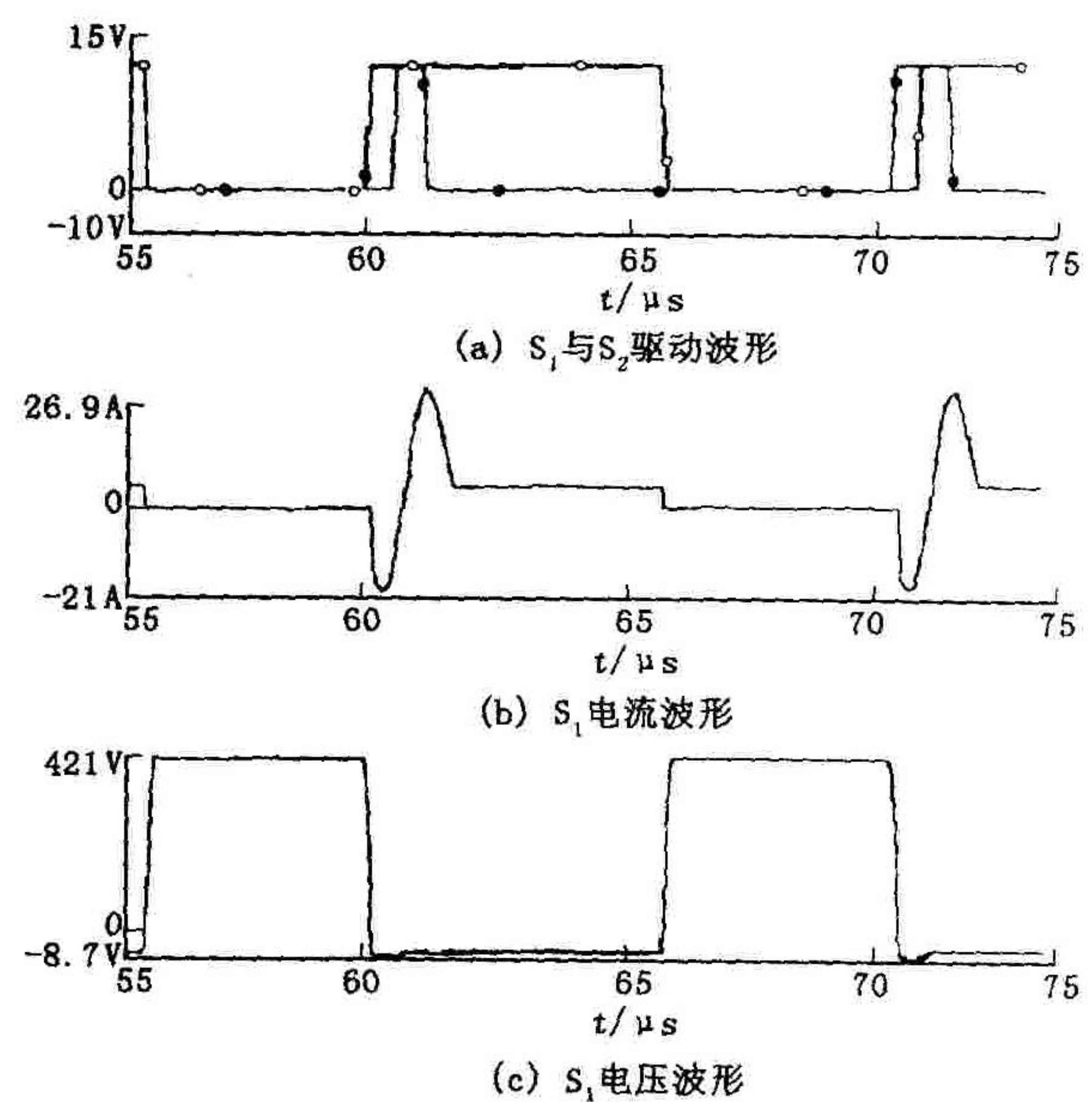
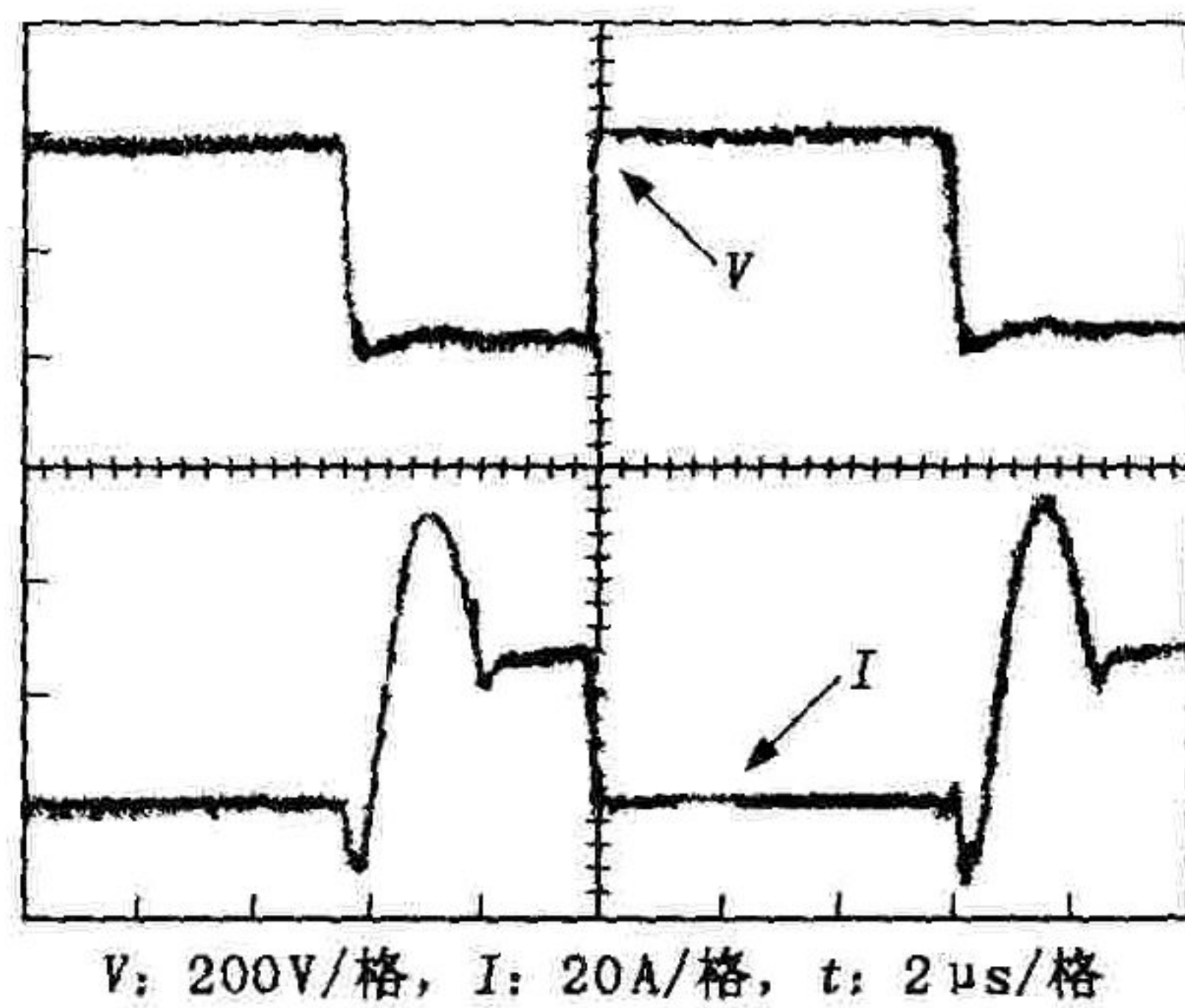
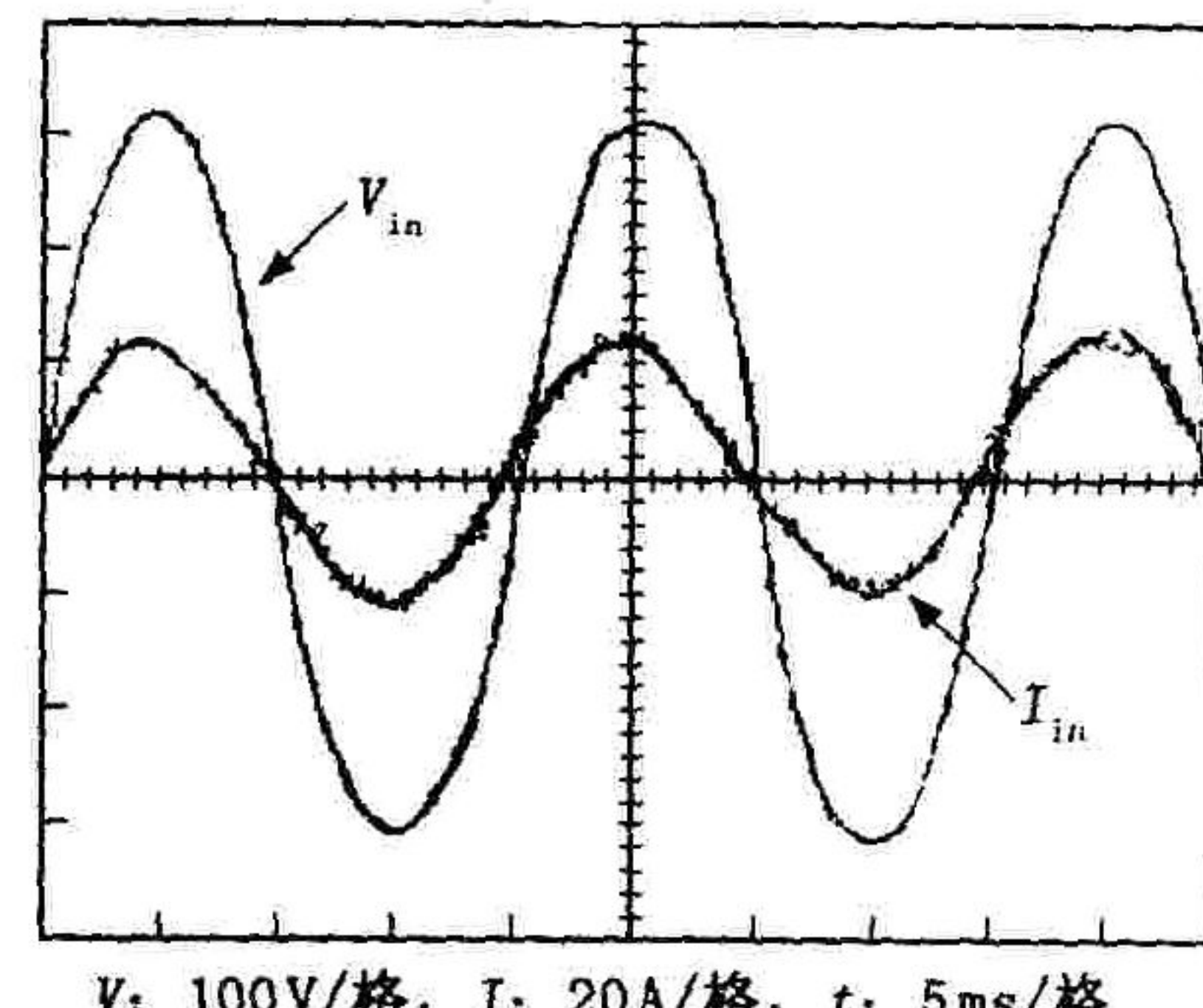


图4 轻载条件下主开关电压、电流波形及主开关与辅助开关驱动波形

为了进一步验证该变换器的工作原理和性能,在实验室完成了一台功率为 3 kW,工作频率为 100 kHz 的通用开关电源原理样机。图 5 和图 6 给出了满载条件下,输入交流 160 ~ 275 V,输出电压为 400 V 时的实验波形。控制器以 UC3854 为核心,辅以必要的外围电路,可使所提出的 ZVT PFC 变换器获得近似正弦波的输入电流,并且 THD 很小,只有 5.7%, PFC 达到了 0.99。图 5 给出了文章所提出的 ZVT - PWM PFC 工作在满载条件下的实验波形图。可以看出,实验波形与仿真结果一致。主开关管和辅助开关管都可在很宽的负载范围内实现零电流开关,并且电压和电流应力都很小。另外,二极管 D 也实现了软关断。输入电流和电压波形如图 6 所示,输入电流正弦度较好,达到了功率因数校正的目的。



电压:200 V/格,电流:20 A/格,时间:2μs/格
图5 满载条件下主开关电压(上)和电流波形(下)



电压:100V/格,电流:20 A/格,时间:5ms/格
图6 满载条件下输入电压和电流波形

3 结论

本文提出了一种新的 ZVT - PWM 升压 PFC 变换器,分析了其工作过程及电路参数。通过仿真和实验都验证了这种变换器不仅可实现主开关管的零电压转换和辅助开关管的零电流开关,而且开关管的电压电流应力非常小,效率可高达 92%。

参考文献:

[1] Cho J C, Lee F C. Zero - Voltage and Zero - Current - Switching Full - Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp

[J]. IEEE Trans Power Electron, 1998, 13(4):601 - 607.

(下转第 59 页)