

1kW 27VDC/190VDC 电流型控制反激 DC/DC 变换器的设计与实现

Design & Development of 1kW 27VDC/190 VDC Current Controlled Flyback Converter

刘剑 陈道炼 南京航空航天大学 (南京 210016)

Liu Jian Chen Daolian Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘要:介绍了一种大功率电流型控制反激 DC/DC 变换器的设计与实现,并提出了一种更简洁的储能式变压器的设计方法,设计并研制成功 1kW 27VDC/190VDC 原理样机,具有过载与短路能力强、体积小、重量轻等优点。

叙词:反激变换器 大功率 电流控制

Abstract: In this paper, a high power Flyback converter with current controlled is introduced, and a concise design method for storage transformer is proposed. A designed and developed 1kW 24V DC/190V DC prototype has the excellent comprehensive advantages.

Keywords: flyback converter high power current control

1 引言

静止变流器一般采用 27VDC/190VDC/115VAC 400Hz 的变换结构,前级将输入 27V 直流电转换为 190V 直流电,后级逆变环节将 190V 直流电变换为用电设备所需的 115V/400Hz 交流电。由于反激变换器具有电路拓扑简洁、输入电压范围宽、输入输出电气隔离、体积重量小等优点,因而作为静止变流器的前级电路拓扑,将会使整个静止变流器的体积重量下降,以实现更高的功率密度。

2 电流型控制反激 DC/DC 变换器

2.1 功率电路

因为输入为低压大电流,故选用单管反激式拓扑结构,如图 1 所示。针对这一结构主功率开关上必需加缓冲电路,否则开关管关断时漏感能量无处释放,将会引起电压尖峰击穿功率管。常用的缓冲电路有 LCD、RCD 和有源箝位三种,考虑电路开关频率较高(80kHz),所以 LCD 缓冲不可取;而采用有源箝位,箝位开关管要取很大电流定额,且变压器初级有很大环流不利于提高效率,故有源箝位也不可用;RCD 缓冲具有无源、电路简洁的特点,如果参数调试合理不会对效率造成太大影响,故被实验样机采用。

2.2 控制方案

反激变换器具有电流源性质,开环不能开路,否则输出电压极高。作为静止变流器的直流环节使用,当后级逆变桥的四个功率管均关断时,对前级的反激变换器输出端就相当于开路,因而必需采用电压闭环控制;同时为提高电源的性能,采用电流型

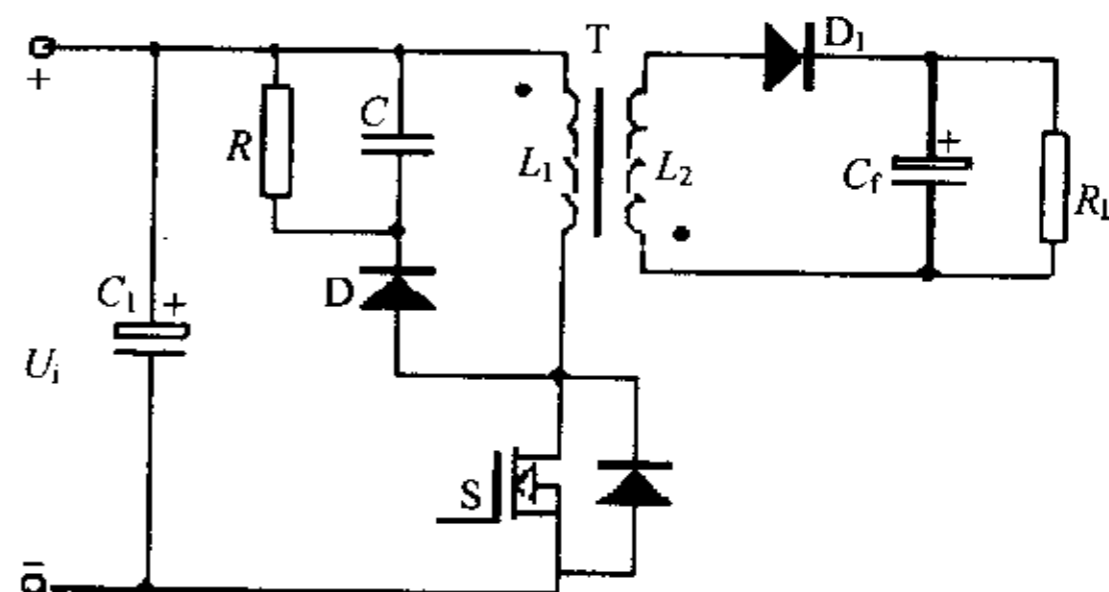


图 1 RCD 缓冲单管反激式变换器电路拓扑

控制技术,这种电流电压双闭环控制使系统具有瞬态响应快、稳定性高、内在限流能力等优点。

2.3 电路组成

研制的 1kW 样机电路,如图 2 所示。整个电路的核心为 UNITRODE 公司的电流型 PWM 芯片 UC3843N,该芯片原用于设计 200W 以下的小功率开关电源,这里将其变通使用。 Q_1 、 Q_2 构成图腾柱以增大驱动能力, Q_3 作射极跟随器取出 UC3843 的锯齿波, CT_1 取样主开关管的电流信号, R_7 、 R_8 将电流信号与锯齿波相叠加作斜坡补偿,以消除电流控制型调节器在占空比大于 50% 时固有的次谐波振荡, R_7 、 R_8 的比值可以决定斜坡补偿的深度。 R_{13} 、 D_6 构成基准电压源, Q_5 为误差放大管,光电耦合器 U_3 将误差电压反馈给 UC3843N,构成电压闭环,同时保证电气隔离。

3 关键电路参数设计

3.1 储能式变压器

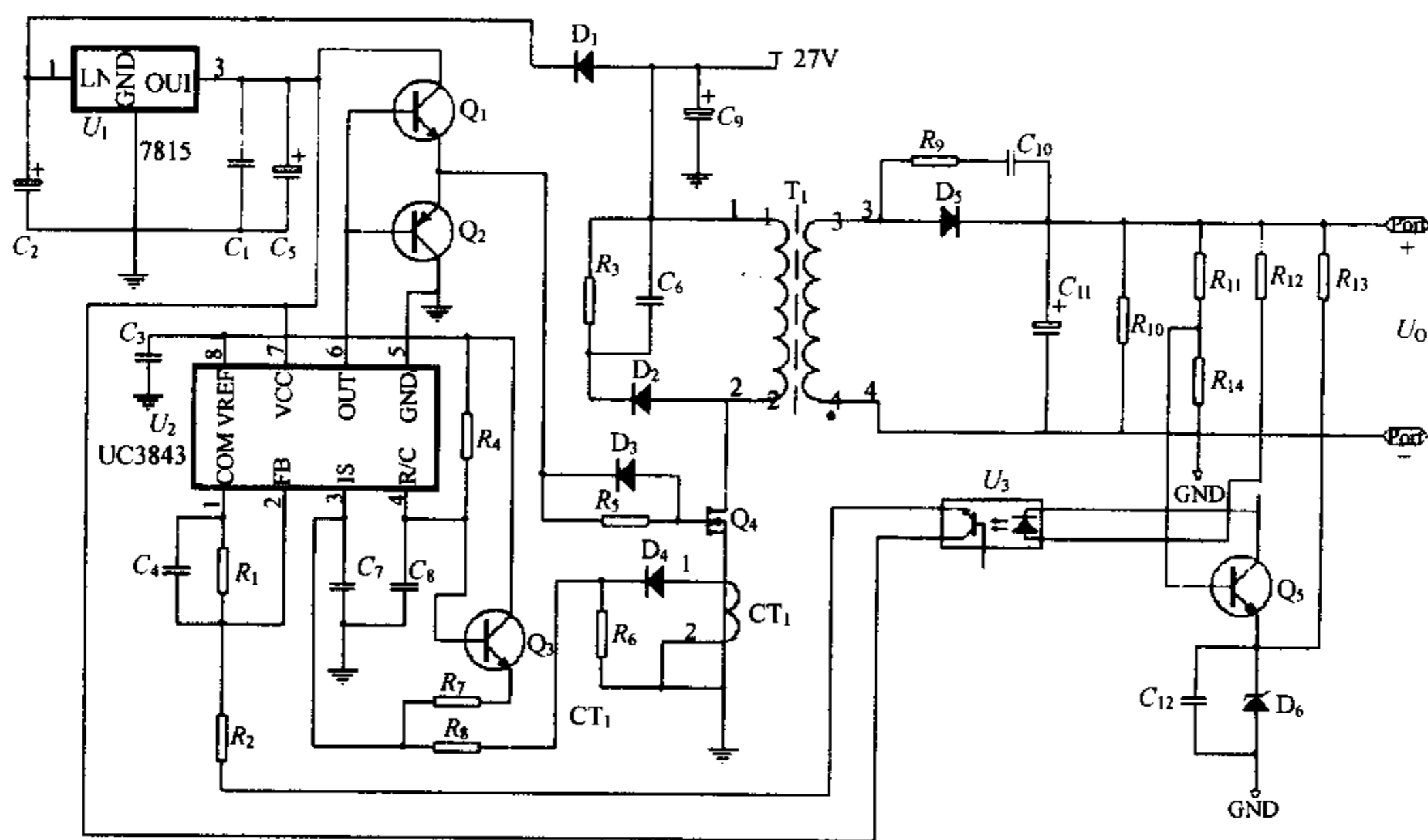


图2 原理样机电路组成

设电流临界连续时的功率为总输出功率的 1/5, 则

$$B_m = B(1 + \frac{1}{5}) \quad (1)$$

式(1)中, B_m 为最大磁密, B 为偏置点磁密, 则磁密变化量为

$$\Delta B = 2(B_m - B) \quad (2)$$

原边匝数为

$$N_1 = \frac{U_{i\min} T_{on\max}}{\Delta B S} \quad (3)$$

式(3)中, $U_{i\min}$ 为最小输入电压, $T_{on\max}$ 为开关管最大导通时间, S 为磁芯截面积。

电流临界连续时原边电感

$$L_{1\min} = \frac{U_{i\min}^2 T_{on\max}^2 \eta}{2P_{o\min} T_s} \quad (4)$$

式(4)中, $P_{o\min}$ 为临界连续功率, T_s 为开关周期, η 为变换效率。

储能式变压器磁芯气隙为

$$\delta = \frac{N_1 I_{1p} \mu_0}{B_{\max}} \quad (5)$$

式(5)中, I_{1p} 为原边最大峰值电流, μ_0 为真空的磁导率。

3.2 功率开关管

开关管的电压应力和电流应力分别为

$$U_{DS} = U_{i\max} + \frac{N_1}{N_2} U_o \quad (6a)$$

$$I_{1p} = I_{1\text{avg}} + \frac{1}{2} \Delta I = \frac{P_o T_s}{T_{on\max} U_{i\min} \eta} + \frac{1}{2} \frac{U_{i\min}}{L_{1\min}} T_{on\max} \quad (6b)$$

式(6b)中, $I_{1\text{avg}}$ 为原边电感电流平均值, ΔI 为原边电流脉动值。

3.3 整流二极管

二极管 D_5 的电压应力和电流应力分别为

$$U_{DS} = \frac{N_2}{N_1} U_i + U_o \quad (7.a)$$

$$I_{D5P} = I_{2P} \quad (7b)$$

3.4 RCD 箝位电路

箝位电容 C_6 为

$$C \geq \frac{L_{1K} I_{1p}^2}{(U_{DS} - U_i)^2 - U_{\text{resd}}^2} \quad (8)$$

式(8)中, U_{resd} 为箝位电容 C_6 的初始电压。

箝位电阻 R_3 要满足

$$(U_{DS} - U_i) e^{-\frac{T_{\text{off}}}{RC}} \geq \frac{N_1}{N_2} U_o \quad (9)$$

式(9)中, T_{off} 为开关管的截止时间。

3.5 死负载 R_{10} 的选取

由于空载时占空比非常小, 且会引起间隙振荡, 需加上死负载, 其值在调试中决定, 在系统稳定的前提下, 其阻值越大越好。

4 原理样机试验

设计实例: 额定输出功率 1000W, 输入电压 27V, 输出电压 190V, 开关频率 80kHz, 储能式变压器磁芯 R2KBD PM74, 绕组匝数 $N_1/N_2 = 4/28$, 磁芯气隙 3.2mm, 最大占空比为 0.6, 箝位电阻 R_3 为 51Ω, 箝位电容 C_6 为 5.6μF, 箝位二极管 D_5 为 DSEI60-06,

整流管 D_3 为 DSEI30-10, 死负载 R_{10} 取为 $10k\Omega$; 电流互感器 CT_1 的匝比是 1/250, 磁芯采用 $\Phi 27$ 超微晶磁环。

样机试验波形如图 3 所示, 图 3(a)、(b) 分别是空载时的开关管的电流波形和漏源电压波形, 其中电流波形是从取样电阻

R_6 上测得; 图 3(c)、(d) 分别是满载时的开关管的电流波形和漏源电压波形。该电源从空载到满载时, 输出电压波动小于 1% U_o , 说明电源的负载调整率是相当高的。

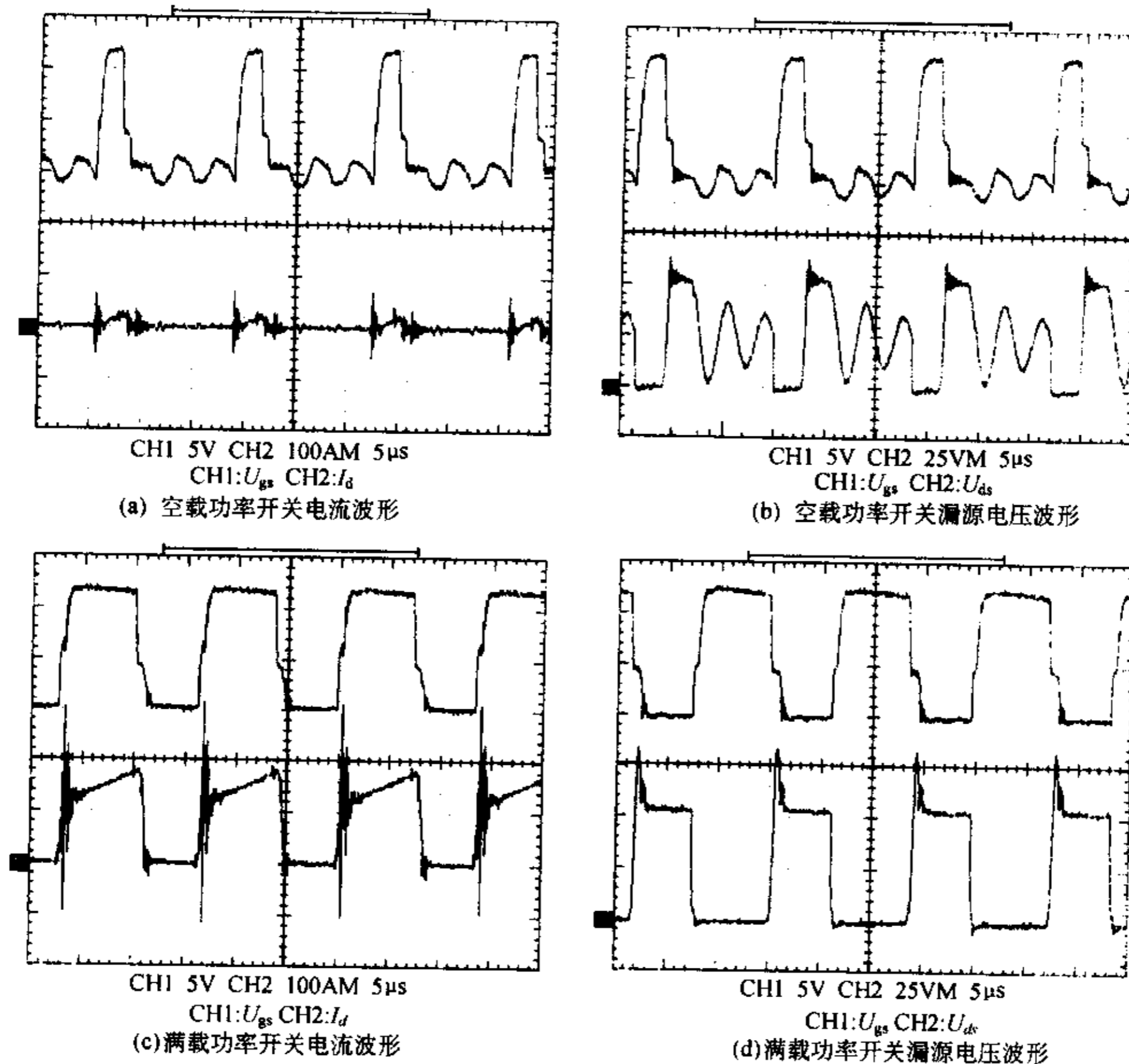


图 3 原理样机试验波形

5 结论

反激式变换器完全可用于大功率场所, 且具有体积小重量轻的优点; 研制成功的原理样机具有功率密度高、稳定性高、变换效率高、内在的过载与短路电流限制等综合性能, 在各种功率应用场所有重要的应用价值。

参考文献

[1] 陈道炼. 高频环节航空静止变流器研究[博士后研究工作报

告]. 南京航空航天大学, 2001

[2] Unitrode's Product Application Handbook. 1995 ~ 1996

作者简介

刘剑, 男, 1973 年生, 南京航空航天大学硕士研究生, 研究方向为功率电子变换技术。