

# 通信二次电源的最简化设计

## The Simple Design on the Communication Secondary Power Source

刘喜甫 仲志刚 长春邮电电话设备厂 (130062)

Liu Xi fu Zhong Zhigang Switch Power System China Company (130062)

穆维新 郑州鸥丽电子(集团)股份有限公司 (450006)

Mu Weixin Zhengzhou Ouli Electronic (group) Co.Ltd(450006)

刘铁军 吉林大学 (130012)

Liu Tiejun JiLin University (Changchun 130062)

**摘要:**本文简要地介绍了新型升压式集成稳压器 LM2587—ADJ 的性能及特点,并采用该器件设计了两款最简化的通信二次电源模块。

**叙 词:**二次电源 反激式变换器 正激式变换器

**Abstract:** this paper introduces the performance and the feature of the boort LM2587—ADJ. It describes two simple circuit design with LM2587—ADJ

**Keywords:** Secondary power source Flyback converter Forward converter

### 1 概述

通信设备的供电系统是由一次电源和二次电源构成的。一次电源的作用是将 220V 单相或 380V 三相的交流市电转换成 -48V 或 -24V 的直流电压。一次电源的功率容量很大,采用集中式结构,组成单独的电源机架,安置在动力室中。一次电源属于 AC/DC 变换器。本电源不直接供给通信设备的各单元电路,它要经过二次电源变换,将其变成  $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$  等的电压,然后再加到各单元电路上。二次电源的功率容量不大,从数瓦到数十瓦,它采用分布式结构,做成电源模块,和其它通信电路安装在一起。二次电源属于 DC/DC 变换器。

对通信二次电源的要求是:体积小、重量轻、效率高和电磁兼容性好。这对二次电源的设计,提出了严格的要求。在电路拓扑上,一次电源多采用半桥式或全桥式,而二次电源由于功率小、电压低,更多地采用单端正激式、反激式、带隔离变压器的 Cuk 式,以及推挽式变换器形式。

本文采用新型开关式电源稳压集成电路 LM2587 设计了两款二次电源模块,具有电路简单、元器件少、成本低、体积小、效率高的特点;LM2587 在市场上量大易购,价格适中。因此,用它来制做的二次电源模块,有较高的性能价格比。

### 2 LM2587 简介

LM2587 是美国国家半导体公司,即 NS 公司九十年代中期推出的产品,它是一种单片升压式电压调整器,是在原来的 LM2577

基础上,经改进升级的产品。它的外形与引脚排列与 LM2577 相同;但振荡频率由 52kHz 升到 100kHz。功率开关管的输出电流由 3A 增加到 5A。所以用 LM2587 可以设计功率更大、用途更广的电源模块,是目前市场上同类产品中的优选品种。

LM2587 只有 5 只引脚,采用 TO220 封装,其引脚排列及内部功能框图见图 1 所示。

LM2587—ADJ 的输出电压有 3.3 V、5V、12V 四种类型,ADJ 表示输出电压可调型的,调节范围为 3.3V ~ 60V,输出电压直接标在后缀上,如 LM2587—12。

LM2587 的主要特点是:

- 外部元件少;
- NPN 型输出管 65V,5A;
- 输入电压范围宽 4 ~ 40V;
- 100kHz 内部振荡器;
- 电流控制模式,改善了瞬态响应;
- 软启动功能,抑制开机时电流冲击;
- 电流限制,欠压锁定和热关闭保护;

由上可见,LM2587 不仅电路简单,而且性能也是很优越的;特别是它功能齐全,有比较完善的内部保护电路,可靠性高。这些都给电源设计者带来了莫大的便利。

LM2587 的典型电路是非隔离的升压变换器;但由于 IC 中的输出管集电极开路,我们就可以将原典型电路中的电感器换成

变压器,按整流管的不同接法,就可以构成不同形式的单端变换器,如正激式、反激式或带变压器的 Cuk 式。

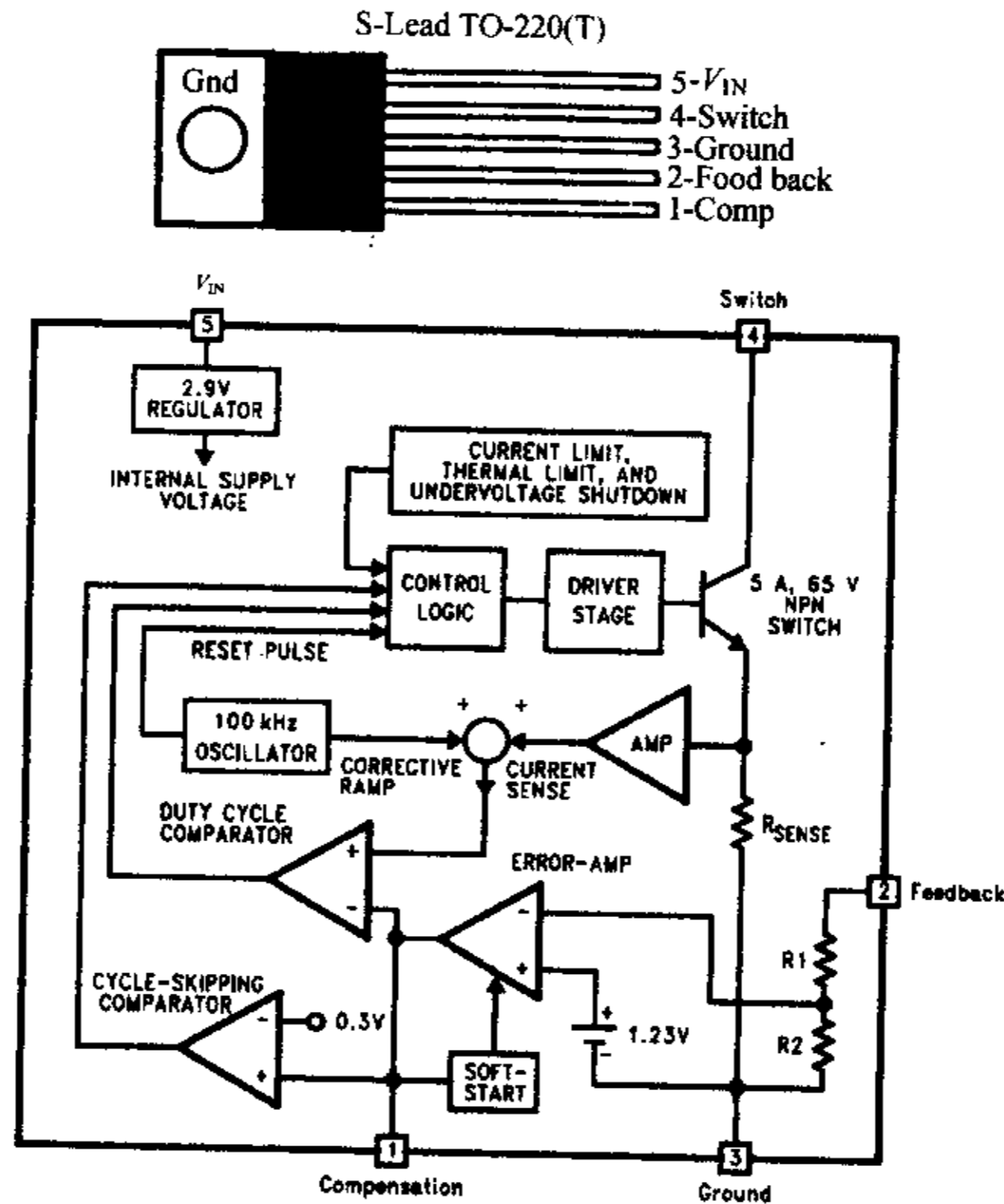


图 1

在目前的单片式开关稳压器中, TOPSwitch 器件是最简化的;但它更适用于由市电直接整流的 AC/DC 变换器,而 LM2587 则适合于低压的 DC/DC 变换器。

笔者采用 LM2587-ADJ 设计了两款二次电源模块,正激式与反激式各一款,输入电压为  $-24\text{V}$ ,输出分别为  $+5\text{V}/5\text{A}$ 、 $\pm 12\text{V}/0.5\text{A}$ 。下面分别予以介绍。

### 3 +5V/5A 单端正激式变换器

通信电路中用得最多的是  $+5\text{V}$  电源,单片机、接口电路、TTL 电路都用它。本电路的输出电流达  $5\text{A}$ ,且只有一组输出,故采用了正激式拓扑。正激式变换器,又称 Forward Converter 变换器,它有以下优点:

- 1) 换器铁芯不需要加空气隙,电感值较高,能降低变压器铜损,对减少变压器铁芯尺寸有利,温升较小。
- 2) 输出电流连续,纹波电流和纹波电压均较小,滤波电容可取较低的数值。
- 3) 输出管上的峰值电流较小,只有反激式的一半。对同一单片式稳压电源来说,可以得到更大的输出功率。
- 4) 本机的电路见图 2 所示。

其工作流程是:由一次电源输入的  $-24\text{V}$  电压经 EMI 噪声滤波器加到 LM2587 的第 5 脚,EMI 的作用是滤去由输入电源传入的杂波干扰,同时也防止变换器中  $100\text{kHz}$  信号串入公共电源线,

影响其它电路。LM2587 中的输出管接高频变压器,变压器初级有两个绕组,  $N_p$  为主绕组,起传输能量的作用,在  $N_p$  上并联有  $VD_1$ 、 $VD_2$  串接的吸收回路,消除变压器漏感引起的反向峰值电压。 $VD_1$  的名称是瞬态电压抑制二极管,英文缩写为 TVS。它的体积小,响应速度快,钳位电压稳定,使用寿命长,性能远优于常用的压敏电阻器。 $N_r$  为去磁复位绕组,在输出管截止时,将变压器因剩磁储存的能量反馈回电源。同时,把输出管集电极上的峰值电压限制在两倍直流电压之内。变压器次级绕组  $N_s$ ,在同名端整流二极管正向连接。输出管导通时  $N_p$  有电流通过,经变压器向次级绕组传输能量,  $N_s$  上产生电压,整流二极管导通,续流二极管  $VD_3$  因反向而截止,整流后的输出电压经滤波电容滤波,向负载供电。同时输出的电压为储能电感储能。当输出管截止时,整流二极管反偏不工作,续流二极管导通,电感储存的能量继续向负载供电。TL431 为可调式精密并联稳压集成块,它与光耦 OC1 及取样电阻等组成电压反馈回路。输出电压低于  $5\text{V}$  时。经取样电阻  $RP1$ ,  $R6$  与  $R7$  分压,中点电压低于  $2.5\text{V}$ , TL431 截止,光耦不工作, LM2587 的 FB 端输入低电平, LM2587 输出的高频脉冲电压占空比增大,使输出电压上升。反之,当输出电压高于  $5\text{V}$  时,取样电阻的中点电压大于  $2.5\text{V}$ , TL431 导通,光耦工作, LM2587 的 FB 端输入高电平,输出的高频脉冲电压的占空比减小,使输出电压下降。本电路是通过 PWM

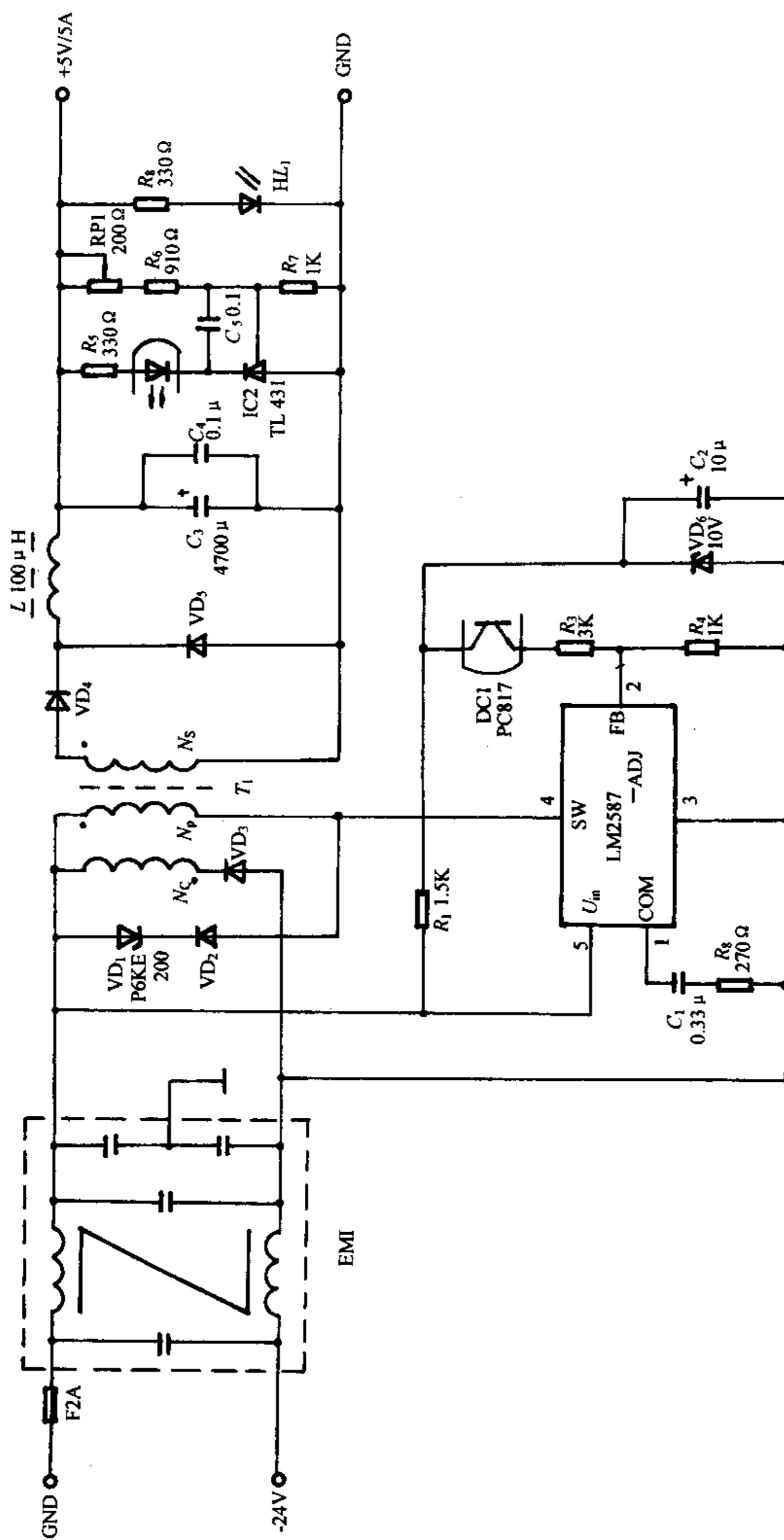


图2 正激式 - 24V ± / +5V 变换器

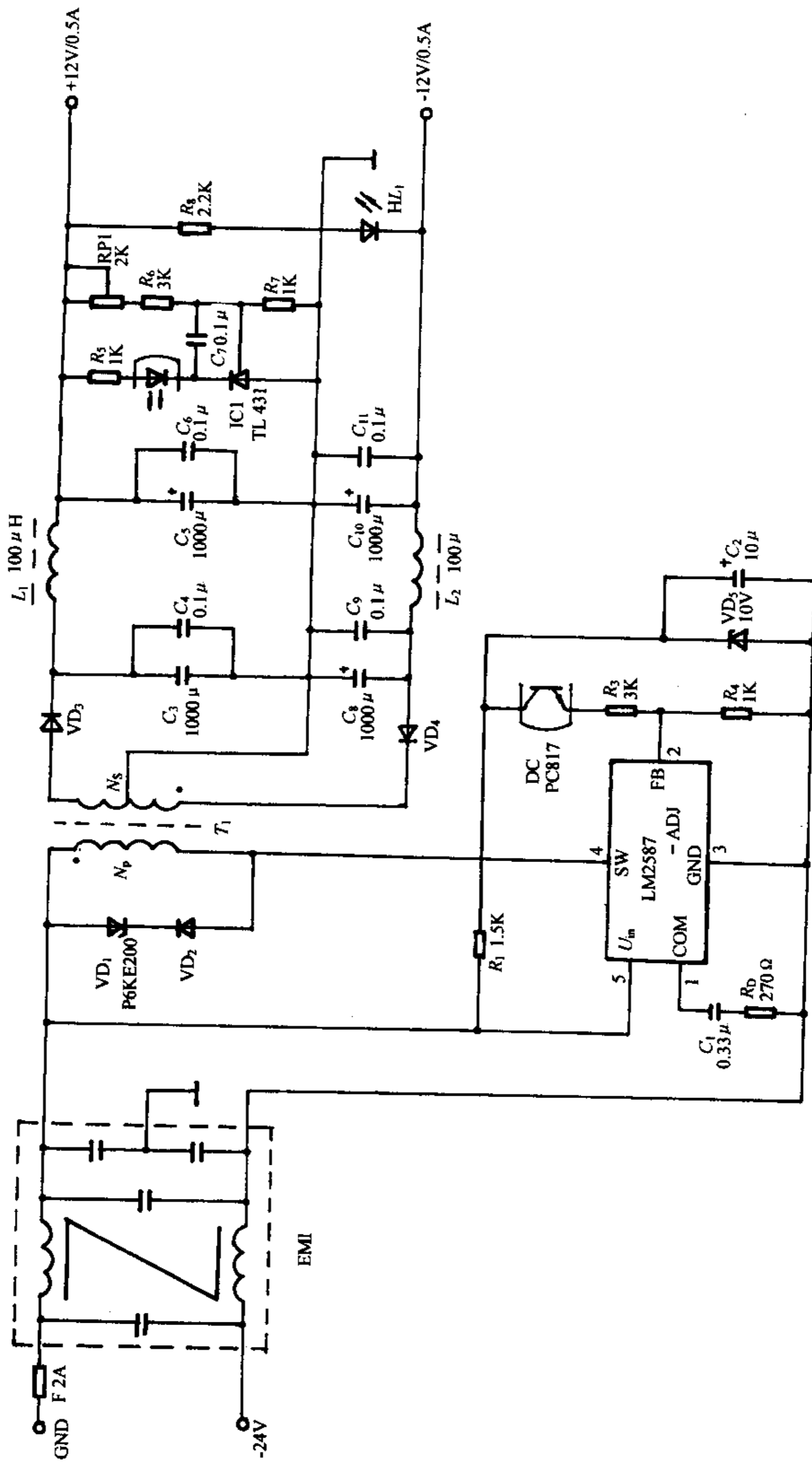


图3 反激式 - 24V/±12V 变换器

方式实现稳压过程的。

单端正激变换器的设计, 主要在于变压器和储能电感的计

算。

1) 变压器铁芯的选择

电源的输入功率

$$P_i = (U_o + U_L + U_f) \cdot I_o / \eta$$

其中  $U_o$  为输出电压,  $U_L$  为储能电感上的压降,  $U_f$  为整流二极管上的正向压降, 当采用肖特基二极管时,  $U_f = 0.5V$ ,

$\eta$  为电源的效率, 本电源取  $\eta = 80\%$

$$P_i = (5 + 0.2 + 0.5) \times 5 \div 0.8 \approx 36W$$

通过查表选择 PQ20 × 20 型铁氧体磁芯,

$$A_e = 62mm^2 \quad B_s = 0.2T$$

2) 变压器初级匝数

$$N_p = \frac{U_{i,max} \cdot t_{ON}}{B_s \cdot A_e}$$

输入电压  $U_{i,min} = 20V$ ,  $U_{i,max} = 28V$ , 正激变换器, 最大占空比取 0.40 ~ 0.45 之间较为适宜, 这里取  $D_{max} = 0.42$

$$T \frac{1}{f_0} = \frac{1}{100 \times 10^3} = 10 \mu s$$

$$t_{ON,max} = T \times D = 10 \times 0.42 = 4.2 \mu s$$

$$N_p = \frac{28 \times 4.2}{0.2 \times 62} \approx 9.5 \text{ 匝} \quad \text{取 } 10 \text{ 匝}$$

3) 变压器次级匝数

$$U_s = \frac{(U_o + U_L + U_f) \times T}{t_{ON}} = \frac{5.7 \times 10}{4.2} = 14V$$

$$K = \frac{U_s}{U_{i,min}} = \frac{14}{20} = 0.7$$

$$N_s = K \cdot N_p = 0.7 \times 10 = 7 \text{ 匝}$$

去磁复位绕组  $N_r$  取  $N_p$  相同匝数, 双线并绕以减少漏感。

4) 储能电感的计算

$\Delta I_L$  取输出电流的 20%

$$\Delta I_L = 0.2 \times 5 = 1A$$

$$L = \frac{U_s - (U_f + U_{O,max})}{\Delta I_L} \times t_{ON,max} = \frac{14 - 5.5 \times 10}{1} = 95 \mu H \text{ 取 } 100 \mu H$$

储能电感可采用坡莫合金或铁硅铝环绕制, 体积小, 且不必留空气隙。也可以采用铁氧体磁芯, 但要留有空气隙, 以避免出现磁饱和现象。续流二极管可采用与整流二极管相同的肖特基二极管, 去磁复位回路和吸收回路中的两只二极管均为快恢复二极管, 瞬态电压抑制二极管选用 P6KE20, 瞬时功率 1500W, 反向击穿电压 20V, 钳位时间 1ns。

#### 4 ±12V/0.5A 单端反激变换器

本电路功率容量不大, 且有两组输出电压, 故采用了反激变换器拓扑。反激变换器材, 英文名称 Flyback Converter。它是所有变换器中电路最简单, 元件数量最少的一种。本电路与上述正激变换器很相似; 但工作原理却有很大不同, 反激变换器中的变换器中的变压器, 它同时起到隔离、变压和储能三个作用。次级回路的整流二极管反向连接。其工作流程是: 当 LM2587 中的输出导通时, 次级回路的整流二极管因反偏而截止, 变压器不能

向次级提供能量, 电源通过初级绕组储存能量。当输出管截止时, 次级回路的整流二极管导通, 变压器初级绕组储存的能量传输给次级, 经整流和 LC 滤波后, 供给负载。其稳压过程与上述电路相同, 这里不在赘述。单端反激变换器不需要去磁复位绕组, 也不用储能电感和续流二极管, 元件少, 成本低, 是当前用得最多的变换器形式。

本电路有两组输出: ±12V/0.5A

反激变换器的设计, 主要也在于变压器的设计。

1) 变压器铁芯的选择

整流二极管选用快恢复二极管, 正向压降  $U_f = 0.8V$  电源效率  $\eta = 80\%$  滤波电感上的压降  $U_L = 0.1V$

$$\begin{aligned} P_i &= (U_o + U_L + U_f) \times I_o \times 2 \div \eta \\ &= (12 + 0.1 + 0.8) \times 0.5 \times 2 \div 0.8 \\ &= 16W \end{aligned}$$

选用与上面相同的 PQ20 × 20 型铁氧体磁芯

2) 变压器初级电感量

$$K \text{ 变} = \frac{U_{i,max}}{U_{i,min}} = \frac{28}{20} = 1.4$$

设最大占空比为

$$D_{max} = 0.5$$

$$D_{min} = \frac{D_{max}}{(1 - D_{max}) \cdot K + D_{max}} = \frac{0.5}{(1 - 0.5) \times 1.4 + 0.5} = 0.42$$

峰值电流

$$I_p = \frac{2P_i}{U_{i,min} \cdot D_{max}} = \frac{2 \times 16}{20 \times 0.5} = 3.2A$$

$$L_p = \frac{U_{i,min} \cdot D_{max}}{I_p \cdot f_0} = \frac{20 \times 0.5}{3.2 \times 100 \times 10^3} = 31 \mu H$$

3) 变压器铁芯的空气隙大小

$$L_s = \frac{0.4\pi \cdot L_p \cdot I_p^2}{A_e \cdot B_{max}^2} = \frac{0.4 \times 3.14 \times 31 \times 10^{-6} \times 3.22}{0.62 \times 0.2^2} = 0.02cm$$

4) 变压器初级匝数

$$N_p = \frac{L_p \cdot I_p \times 10^4}{A_e \cdot B_{max}} = \frac{31 \times 10^{-6} \times 3.2 \times 10^4}{0.62 \times 0.2} = 8 \text{ 匝}$$

5) 变压器次级匝数

$$N_s = \frac{N_p \cdot (U_o + U_f)(1 - D_{max})}{U_{i,min} \cdot D_{max}} = \frac{8 \times (12 + 0.8)(1 - 0.5)}{20 \times 0.5} = 5 \text{ 匝}$$

变压器的绕制工艺, 很多书刊均有介绍, 这里从略。

#### 5 结语

通信二次电源模块的功率不大, 但用量较多, 简化二次电源模块的设计, 降低制做成本, 改善其性能, 是很有意义的。采用 LM2587 制做二次电源, 可以收到事半功倍的效果。LM2587 可以用 LM2588 代替, 后者的功能更多更完善, 但价格也较高。LM2588 的工作频率可在 100kHz ~ 200kHz 之间调节, 并能与外信

(下转第 97 页)



器负荷,结果没有达到并联增大负载电流的目的。另外还有自振荡问题,这将导致 MOSFET 的电压应力增加,给变换器输出带来谐波干扰。对这个问题,我们给电源设计了电压调整端,输出电压在一定范围内连续可调,如用户需要并联运行,只需将电压精准地调整一致即可。

## 4.2 效率问题

在轻载条件下,使用二极管整流器的变换器会进入电流不连续工作模式(DCM),但对于使用了同步整流技术的变换器,由于 MOSFET 的双向导通性,使得负载电流继续反向流过输出电感,并形成环路电流,造成了多余的损耗,限制了变换器在轻载条件下实现高效率。另外,当输入电压变化时,效率也会发生较大的变化。这些都是变换器工作在不同的模式,造成了能流回馈。这些问题在文献 7 中有详细的论述及解决方案。

## 5 实验结果

应用以上分析的电路拓扑及电路参数设计了一台二次电源模块,样机的参数如下:输入电压 48V(36~72V),输出电压/电流为 2.1/40A,开关频率为 250kHz,变压器磁芯选用 EC28 铁氧体,主开关管  $S_1$  及箝位管  $S_2$  选用 IRF640,同步整流管选用 IRL3803S,其通态电阻  $R_{ds}$  仅为 6m $\Omega$ 。在输入电压为 48V 时,满载效率为 85%。经小批量生产及电路参数的微调,产品的各方面性能均达到要求,现已开始批量生产。

## 6 结论

本文介绍了有源箝位自驱动同步整流正激变换器的工作原理,各电路参数及计算公式,采用这种电路拓扑,能很好的实现低压大电流开关变换器。这种方案实现了高效率、高可靠性,又实现了低压大电流的输出,满足了 IT 行业发展的需要,所以这种方案具有极大的市场应用价值。

### 参考文献

[1] Ionel Dan Jitaru, George Cocina. High Efficiency DC-DC Converter,

(上接第 111 页)

号实现同步运行。它具有外信号控制关闭功能,在其控制端加一个 TTL 电平,就可以使 IC 处于微功耗状态,耗电只有 60 $\mu$ A。另外,它还可以多个并联工作,从而获得更大的输出功率。采用 LM2588 能够制做出性能更好,体积更小的电源模块。

### 作者简介

刘喜甫,男,高工,毕业于长春邮电学院自动化专业。在高频开关电源、集成电路应用及音响电路设计上较有造诣,发表论

APEC'94

[2] Wojcieh A. Tabisz, Fred C. Lee and Dan Y. Chen, A MOSFET Resonant Synchronous Rectifier for High-frequency DC/DC Converter, PESC, 1990.

[3] Liaan Y C, Orugant R, Oh T B. Design considerations of power MOSFET for high frequency synchronous rectification. IEEE Trans on Power Electronics, 1995, 10(3).

[4] Teruhiko KOHAMA, Tamotsu NINOMIYA, Masahito SHOYAMA. Abnormal Phenomena Caused by Synchronous Rectifiers in Parallel-module DC-DC Converter System. IEEE APEC'1998 Record: 1225-1229.

[5] H. tanaka, T. Ninomiya, YoOkabe, T. Zaitzu. Low Noise Characteristics of a ZVS-PWM Controlled Serie Resonant Converter with Active Clamp and Synchronous Rectification. IEEE APEC'99 Record, Vol. 1: 146-152, May 1999.

[6] 张占松,蔡宣三,开关电源的原理与设计. 电子工业出版社, 1999.

[7] 瞿成明,王慧贞,有源箝位 ZVS-PWM 控制串联谐振变换器中提高同步整流效率的研究. 电源技术应用, 2002, 10: 28-32.

[8] 张兴柱,卫星用多输出精密直流开关稳压电源系统. 电源世界, 2002, 2: 22-25.

[9] 刘军,严仰光等,采用同步整流的有源箝位正激变式 DC/DC 变换器的研究. 第十四届全国电源技术年会论文集. 北京, 2001, 9.

[10] 王浩等,低电压大电流同步整流技术的现状及发展,电源技术应用, 2002, 9: 56-59.

[11] 赵良炳,现代电力电子技术基础,清华大学出版社,1995.

### 作者简介

王会立,男,从事电力电子及开关电源产品的开发、测试工作。发表学术论文数篇。

文数十篇。

仲志刚,男,工程师,毕业于长春职工大学工业自动化专业,现为长春三元通信有限公司主任工程师,曾独立承担或参与多项通信用高频开关电源系统的开发研制。

穆维新,男,高工,毕业于长春邮电学院自动化专业,并获工商管理硕士学位。现任郑州欧丽电子(集团)股份有限公司副总经理;在程控交换机和电子电路设计领域取得一定成就。

刘铁军,男,高工,航天部中国空间技术研究院硕士研究生。现任吉林大学管理学院实验中心副主任。