

电力电子变换器机内辅助开关电源设计与实现

The Design and Development of Auxiliary Switching Power Supply in Power Converters

林胜洋 陈道炼 南京航空航天大学 (南京 210016)

Lin Shengyang Chen Daolian Nanjing University of Aeronautics & Astronautics(210016)

摘要:本文论述了峰值电流控制 RCD 箝位反激变换器的原理,并首次提出了 RCD 箝位等关键电路参数设计准则。设计并研制成功的 15W 220V50HzAC/270VDC/ + 15VDC(0.8A)、- 15VDC(0.15A)、+ 5VDC(0.2A)机内辅助开关电源具有功率密度高、变换效率高、过载与短路能力强、可靠性高等优良的综合性能,在 AC/AC、DC/AC、AC/DC、DC/DC 等四类电力电子变换器中均具有重要应用价值。

叙词:机内辅助开关电源 电力电子变换器 电流控制 RCD 箝位 反激变换器

Abstract: The operation of RCD clamped flyback converter based on peak current control are presented, and the design criterion of the key parameters such as RCD clamp circuit is proposed. The designed and developed auxiliary switching power supply, i. e. 15W 220V50HzAC/270VDC/ + 15VDC(0.8A)、- 15VDC(0.15A)、+ 5VDC(0.2A), has excellent comprehensive performance such as high power density, high conversion efficiency, strong ability of overload and short circuit, high reliability. This auxiliary switching power supply has the important application value on ac/ac, dc/ac, ac/dc and dc/dc power converters.

Keywords: auxiliary switching power supply power converter current control RCD clamp flyback converter

1 引言

反激变换器具有电路拓扑简洁、输入输出电气隔离、电压升/降范围宽、易于多路输出等优点,因而是机内辅助开关电源理想的电路拓扑。

然而,反激变换器功率开关关断时漏感储能引起的电压尖峰必须用箝位电路加以抑制。由于 RCD 箝位电路比 LCD 箝位、有源箝位电路更简洁且易实现,因而 RCD 箝位反激变换器在小功率变换场合更具有实用价值^[1]。将 RCD 箝位反激变换器与峰值电流控制技术结合在一起,便可获得高性能的电力电子变换器机内辅助开关电源。本文主要论述这类机内辅助开关电源原理,首次提出了箝位电路等关键参数设计准则,并给出了设计实例与试验结果。

2 机内辅助开关电源的原理

1) 功率电路

功率电路采用 RCD 箝位反激变换器,如图 1 所示。当功率开关 S 关断时,储能变压器 T 的漏感能量转移到箝位电容 C 中,并在电阻 R 上消耗。功率开关 S 关断电压尖峰得到了有效的抑制。

然而,箝位电路参数对反激变换器的性能有重要的影响。不同 R、C 值时,箝位电容电压波形如图 2 所示。图 2(a)中,C 取

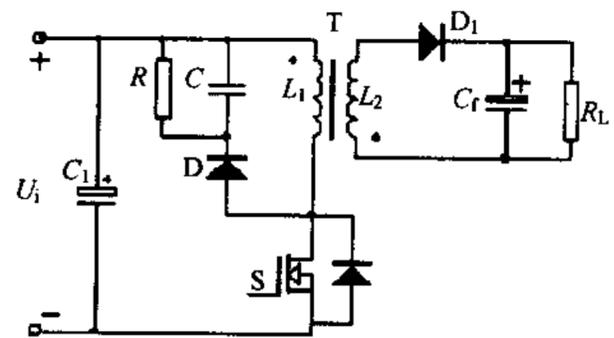


图 1 RCD 箝位反激变换器电路拓扑

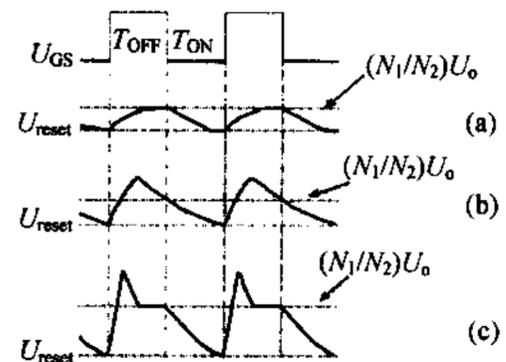


图 2 不同 R、C 值时箝位电容电压波形
值较大,C 上电压缓慢上升,副边反激过冲小,变压器原边能量不能迅速传递到副边;图 2(b)中,R、C 值合适,C 上电压在开关管

* 本文为国家自然科学基金(59977010);江苏省自然科学基金(BK99121)及航空基础科学基金(99FF52045)资助项目研究内容

截止瞬间冲上去,然后二极管 D 截止,电容 C 通过电阻 R 放电,到功率管开通瞬间,C 上电压应放到接近 $(N_1/N_2)U_o$;图 2(c)中,R、C 均偏小,C 上电压在管子截止瞬间冲上去,然后因为 RC 时间常数小,C 上电压很快放电到等于 $(N_1/N_2)U_o$,此时 RCD 箝位电路将成为反激变换器的死负载,消耗储存在变压器中的能量,效率降低。

2)控制方案

机内辅助开关电源采用 UC3843 芯片峰值电流控制技术。

电流控制技术使系统具有瞬态响应快、稳定性高、输出电压精度高、内在限流能力强、易并联等优点。但占空比大于 50% 时,控制环变得不稳定,抗干扰性能差,需斜坡补偿。

3)电路组成

机内辅助开关电源电路组成,如图 3 所示。220V50HzAC 经 EMI 滤波器、整流桥后得到 270VDC,再经 RCD 箝位的反激变换器变换成三路输出 +15VDC(0.8A)、-15VDC(0.15A)、+5VDC(0.2A),电流控制芯片 UC3843 由自馈电绕组 N_5 供电。 R_{10} 是电

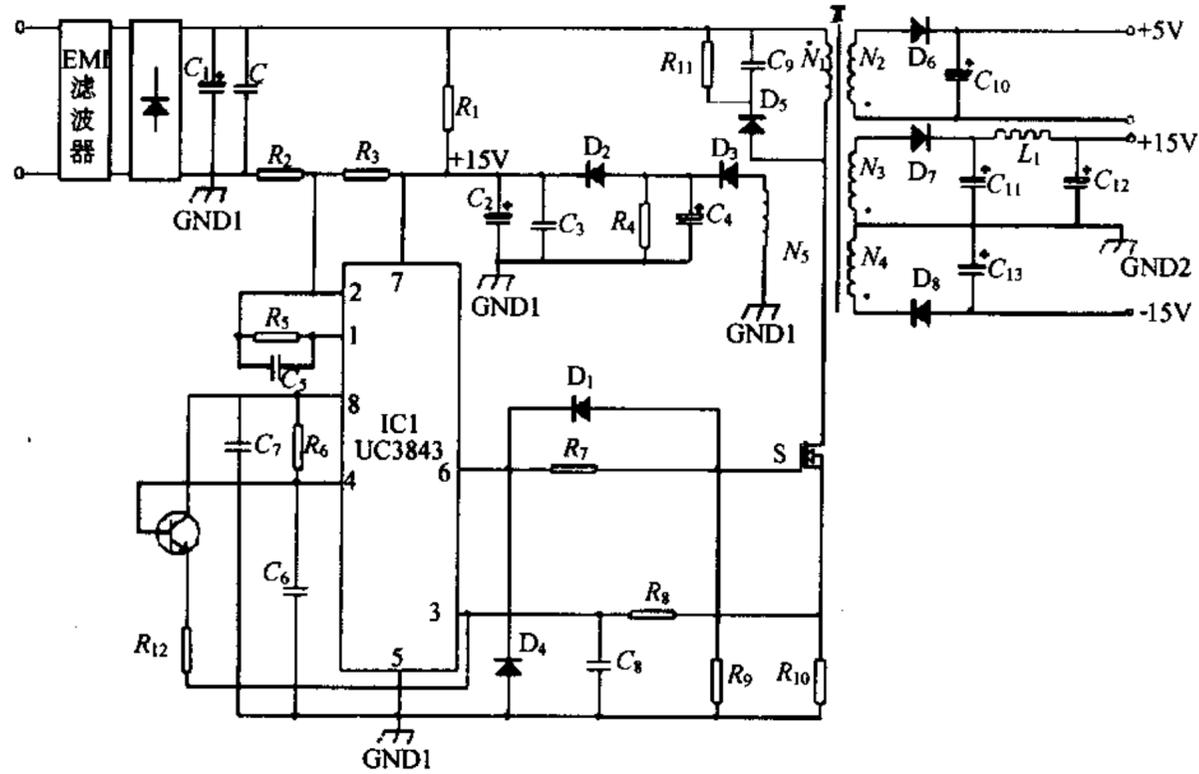


图 3 机内辅助开关电源电路组成

流检测电阻, R_{12} 是斜坡补偿电阻。

3 关键电路参数设计

1)储能式变压器

电流临界连续时原边电感

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

式(1)中, $U_{i min}$ 为变压器原边输入的最小直流电压, T_s 为开关周期, P_o 为输出功率, η 为变换效率。储能式变压器磁芯气隙为

$$\delta = \frac{\mu_0 P_o T_s}{2K_f S_c B^2 \times 10^{-8}} \quad (2)$$

式(2)中, B 为铁芯工作磁感应强度, S_c 为铁芯截面积, K 为最小输出功率与额定输出功率之比。原边绕组匝数为

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_1 \delta}{\mu_0 S_c} \times 10^8} \quad (3)$$

原、副边绕组匝数比为

$$n_{12} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_{ON max} U_{i min}}{(T - T_{ON max})(U_o + U_D)} \quad (4)$$

式(4)中, U_D 为输出整流二极管压降、 U_o 为副边绕组 N_2 输

出电压。同理可求得其它匝比。

2)RCD 箝位电路

功率管截止时,漏感能量等于箝位电容 C 吸收的能量,则

$$C = \frac{L_k I_p^2}{(U_{DS} - U_i)^2 - U_{reset}^2} \quad (5)$$

式(5)中, L_k 为变压器漏感、 I_p 为原边电感电流峰值、 U_{DS} 为最大漏源电压、 U_{reset} 为电容 C 初始电压、 U_i 为输入直流电压。箝位电容 C 上的电压只是在功率管关断的一瞬间冲上去,然后应一直处于放电状态。在功率管开通之前,箝位电容 C 上的电压不应放到低于 $(N_1/N_2)U_o$, 否则二极管 D 导通, RCD 箝位电路将成为该变换器的死负载。箝位电阻 R 要满足

$$(U_{DS} - U_i) e^{-\frac{T_{OFF}}{RC}} \geq \frac{N_1}{N_2} U_o \quad (6)$$

箝位二极管 D 的电压应力为 $U_i + (N_1/N_2)U_o$, 峰值电流为原边电感峰值电流 I_p 。

3)功率开关

功率开关 S 的电压应力和电流应力分别为

$$U_{DSmax} = U_{i max} + \frac{N_1}{N_2} U_o \quad (7.a)$$

$$I_{ip} = I_{1av} + \frac{1}{2} \Delta I = \frac{P_o T}{T_{ONmax} U_{i min} \eta} + \frac{1}{2} \frac{U_{i min}}{L_{i min}} T_{ONmax} \quad (7.b)$$

式(7.b)中, I_{1av} 为原边电感电流平均值, ΔI 为原边电感电流脉动值。

4) 整流二极管

整流二极管 D_6 的电压应力和电流应力分别为

$$U_{D6} = \frac{N_2}{N_1} U_i + U_o \quad (8.a)$$

$$I_{D6,P} = I_{2P} \quad (8.b)$$

同理计算其它整流二极管承受的电压和电流应力。 D_2 的作

用是阻止启动时输入电压对死负载 R_4 供电, 使得 C_2 上的电压迅速上升, 从而使 UC3843 快速启动。

5) 死负载 R_4 的选取

死负载 R_4 消耗的功率按额定功率的 5% 来设计, 其大小为

$$R_4 = \frac{U_o^2}{5\% \cdot P} \quad (9)$$

6) 输出滤波电容 $C \geq \frac{5T_s}{8K\%R} \quad (10)$

式(10)中, $K\% = U_{opp}/U_o$, U_{opp} 为输出电压纹波峰峰值, R 为负载电阻。

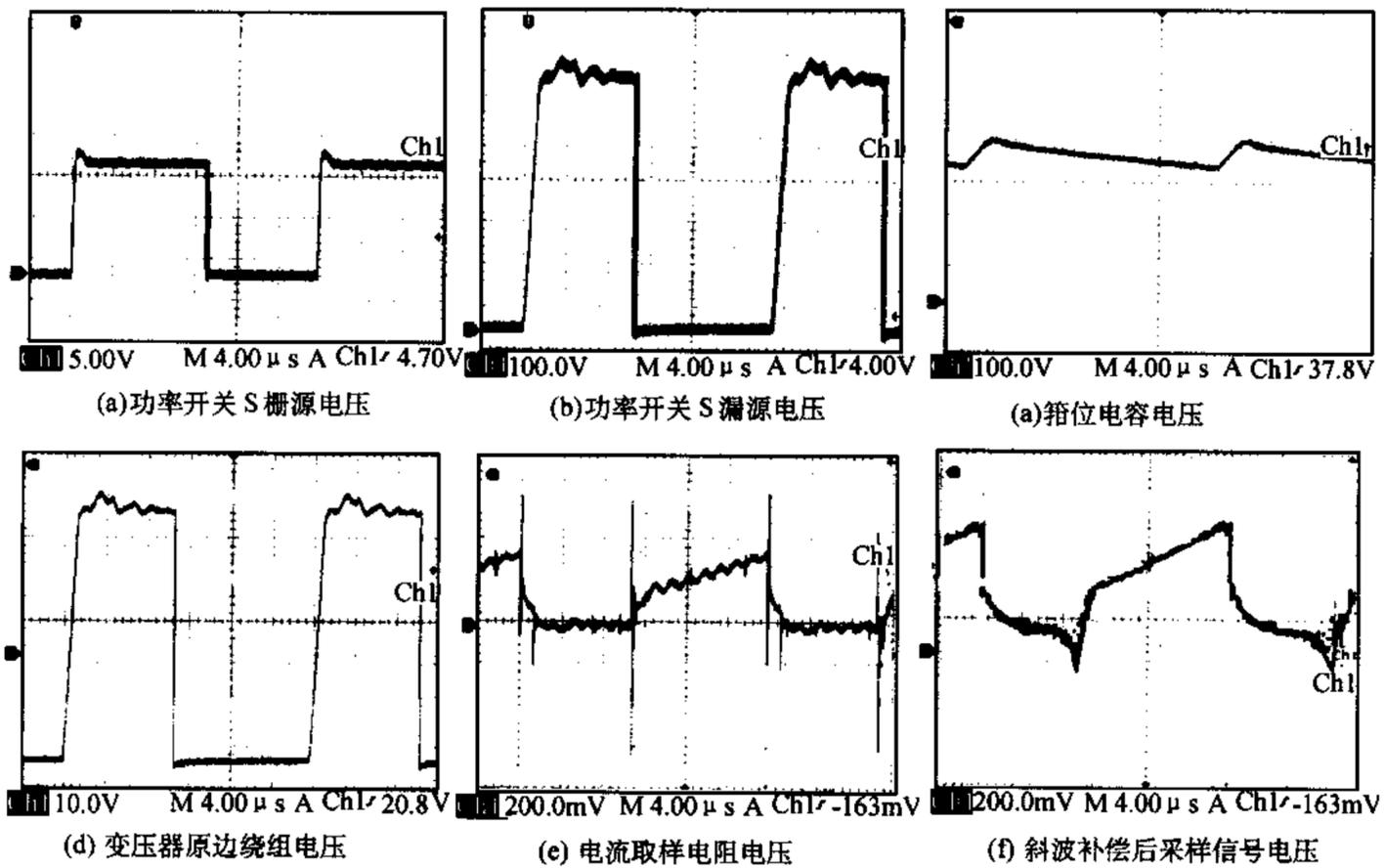


图 4 机内辅助开关电源试验波形

4 机内辅助开关电源试验

机内辅助开关电源设计实例: 额定输出功率 15W, 输入电压 220V ± 10% 50Hz AC 或 270VDC ± 10%, 三路输出分别为 +15VDC (0.8A)、-15VDC (0.15A)、+5VDC (0.2A), 开关频率为 40kHz, 储能式变压器磁芯选用铁氧体 R2KBD GU30、绕组匝数 $N_1/N_2/N_3/N_4/N_5 = 391/8/17/17/17$, 磁芯气隙 0.31mm, 最大占空比 0.6, 临界连续时输出功率为 1/6 额定功率, 箝位电阻取为 68kΩ, 箝位电容取为 2.2nF 高频瓷电容, 箝位二极管取为肖特基二极管 MUR180 (1A/800V), 整流二极管 D_3 、 D_6 、 D_8 选用肖特基二极管 IN5819 (1A/40V), D_7 选用肖特基二极管 IN5822 (3A/40V)。

机内辅助开关电源试验波形, 如图 4 所示。图 4(a) 是功率开关栅源电压, 占空比为 0.6; 图 4(b) 是功率开关漏源电压, 其关断电压尖峰得到有效抑制; 图 4(c) 是箝位电容 C_s 电压波形; 图 4(d) 是原边绕组 N_1 电压波形; 图 4(e) 是电流检测电阻 R_{10} 上电压

波形; 图 4(f) 是采用斜坡补偿后 UC3843 的 3 脚采样信号电压波形, 斜坡补偿后采样信号电压上升率高于电流检测电阻 R_{10} 上电压上升率, 提高了电路的抗干扰能力。由于该电源额定输出功率为 15W, 其变换效率达 75% 是相当高的。试验结果证实了理论分析的正确性。

5 结论

- 1) RCD 箝位电路能有效地抑制变压器漏感引起的功率开关关断电压尖峰, 在小功率变换场合具有明显的优点;
- 2) 给出关键电路参数设计公式, 试验结果与理论分析一致;
- 3) 该机内辅助电源具有功率密度高、变换效率高、过载与短路能力强、可靠性高等优良的综合性能, 在 AC/AC、DC/AC、AC/DC、DC/DC 等四类电力电子变换器中具有重要应用价值。

(下转第 54 页)

由于历史的原因,导致营业收入、成本、管理费用、销售费用、财务费用等项目的构成比例各不相同,表现出不同的个性或风格。不同的风格对外体现为不同的产品营销 4P 组合(产品 Product, 价格 Price, 促销 Promotion, 渠道 Place)。以目前市场销售额排在前几位的开关电源供应商为例简述其企业优势:

有的在渠道建设与营销投入方面费用高,赢得很高的营业收入,率先获取规模收益的好处,重点突出 Promotion 和 Place。

有的是引进的产品,靠产品本身的可靠性高,赢得较好的口碑,而研发费用相对较少,容易通过大规模使用价格战获取规模收益,扩大市场份额,是利用 Price 优势的受益者。

有的靠在产品研发上不懈地投入,获取技术上的领先地位,同时利用综合性通信设备供应商的优势,争取在公司内部产品配套中实现产品销售额的基本保证,进而逐步加大市场推广力度,树立品牌优势,争取后发制人。其强项是 Product。

而大部分的中小型企业随波逐流,靠市场惯性维持生计,市场逐步萎缩,其目标市场由原来的全国退缩为重点市场,逐步沦为补缺市场的供应商,有的甚至被淘汰出局。

随着市场疲软的延续,一些弱势企业必然经受不住连续亏损的打击而退出行业竞争,留出的市场空间会被眼光的强势企业占领,那些没有进取心的企业只会错失良机。

4 开关电源供应商的出路

正确认识产品生命周期的意义在于,市场上单个的企业虽然不能主导整个市场的走向,但是可以通过对生命周期曲线的研究,正确认识市场形式,根据企业的实际情况制定尽量与之合拍的营销政策,为企业在今后的市场竞争中赢得主动。

成熟的市场应该使社会资源达到最优配置,这是市场经济的客观要求,也是市场经济的魅力所在。

目前受大环境的影响,开关电源行业的形式相当严峻,国内各大运营商受到资本市场日益规范的监管,已经把提高投资回报率,缩短投资回收期作为工作重点,过去那种只顾投资圈地而不计成本的时代一去不复返,他们顺理成章地将成本压力传递给设备供应商,供应商一方面要承受来自竞争对手的压力,另一

方面要满足运营商不断苛刻的供货要求。加上市场的饱和成度越来越高,已经有不少企业已经不堪负重,力不从心,逐渐淡出该市场,有的通过整体出售退出该行业,有的准备转行,更多的企业挣足了最初的利润后对市场竞争的残酷性没有足够的认识,没有持续的研法经费的投入,更没有生产工艺的升级和改进,只能是随波逐流,等着最后耗尽自己的资源。

现实的严酷预示着行业资源的整合不可避免,但市场经济的行为要由市场来规范,供应商要重新认识自己的核心竞争力,进行适当的市场定位,通过市场细分找到合适的目标市场,通过市场化的手段优化整个行业的资源配置,才是应有的出路。那些依赖行业保护或地方保护生存的企业只能浪费社会资源,终究不能长久,此类企业长期存在的后果将是在拖垮自己的同时损害合作伙伴的长远利益。

开关电源市场未来的格局将会是大宗市场(mass market)由主流供应商瓜分,竞争激烈,劣势企业会相继出局,让出市场空间,资源重新整合,最终形成稳定的寡头垄断市场。众多的补缺市场供应商按区域或重点领域获取生存空间。

参考文献

- [1] Philip Kotler. "MARKETING MANAGEMENT—Analysis Planning Implementation and Control"(Ninth Edition) · Prentice-Hall International Inc. March 1997
- [2] 蔡希贤·《现代企业战略管理》·华中理工大学出版社,1998, 11
- [3] 夏新平·《公司财务管理管理》·华中理工大学出版社,1999, 11

作者简介

向阳,1990年毕业于重庆大学自动化系检测技术及仪器专业,2002年毕业于华中科技大学管理学院 MBA 专业,现就职于深圳市中兴通讯股份有限公司电源系统部。

告]. 南京航空航天大学,2001.

作者简介

林胜洋,1977年生,硕士研究生,研究方向为功率电子变换技术。

(上接第 106 页)

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