行波管高压开关电源

谢章贵
(中国船舶重工集团第七二三研究所， 江苏 扬州， 225001)

摘 要:根据实际应用中遇到的问题,通过 **Buck** 变换器原型电路演变,形成一种高压开关电源的电路形式,类比于 **Buck** 变换器原型电路,分析它的负载特性;说明在行波管电源中,这种电路形式的高压电源与其它形式的电源相比,具有其独特的优越性。

关键词:开关电源; 行波管; 高压; 小型化

High-voltage Switch Power Supply for Traveling Wave Tube

XIE Zhang-gui
(723th Institute of CSIC, Yangzhou Jiangsu 225001, China)

Abstract: According to the problems encountered in practical usage, a circuit topology of high-voltage switch power supply is obtained, which is developed from the buck converter, and its load characteristic is analyzed referring to the buck converter. Among the varies TWT power supplies, this circuit topology has its own superiority compared with others.

Keywords: switch power supply; TWT(traveling wave tube); high voltage; miniaturization

中图分类号:TN86 **文献标识码**:B **文章编号**:0219-2713(2006)05-0006-04

0 引言

开关电源的出现给各行各业带来了一场革命,随着电源频率的不断提高,电源正向着更高功率密度,更高效率的方向发展。功率密度的增加及效率的提高，意味着电源体积的减小以及能耗的降低,使设备更加小型化、更加环保。尽管开关电源的电路形式多种多样,应用范围也极其广泛,但关于高压开关电源方面的资料并不多见，高压开关电源的使用也不象低压开关电源那样遍及各行各业。笔者就高压开关电源研制过程中遇到的一些问题,提出来进行分析并与大家共同探讨。

1 问题的提出

早期设备中的高压电源通常采用串联稳压形式,而调整管又几乎无例外地使用电子管,为了电子管的工作又必须配多种辅助电源，其结果必然导致电源体积庞大,效率低下,此外还难于满足现代设备提出的环境要求，所以用开关电源来更新换代成为必然。

螺旋线行波管放大器在现代通信、国防等领域有着广泛的应用,一般而言,一支行波管需要灯丝电源、阴极电源、收集极电源、阳极电源及栅极电源等，通常做法是一个电源使用一套独立的电路。尽管使用开关电源形式已使电源体积大大下降,却仍难满足现代设备越来越高的要求,能否用一种高效电路将主要的电源合在一起，从理论上讲,这种设想是可能的,下面进行一些分析。

2 高压开关电源电路

对于任何一支行波管,灯丝电源、阴极电源、收集极电源这 3 种电源必不可少，下面的讨论都只针对其中的阴极电源和收集极电源。

我们在设计这两种电源时，一般采用图 1 所

收稿日期:2006-01-06

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

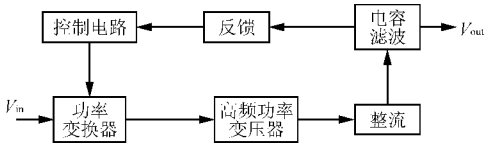


图 1　通用高压电源电路

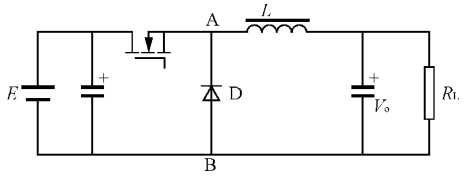


图 2　Buck 变换器

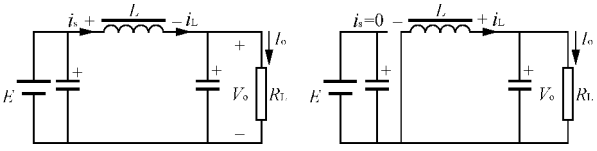
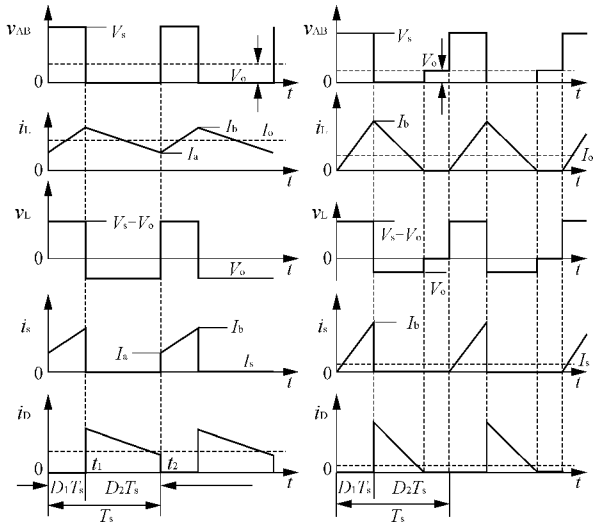


图 3　Buck 变换器等效电路



(a)　电感电流连续工作模式　　(b)　电感电流不连续工作模式

图 4　两种模式下各点波形

示的电路结构。

由于体积及高压的原因，次级滤波一般不采用电感滤波形式,而直接使用电容滤波。在实际使用中,我们发现开关管导通脉宽随负载变化;空载或轻载时，开关管导通脉宽很窄甚至出现间隙振荡。对于一支宽带行波管而言,如果将螺线电源和收集极电源合在一只变压器上输出，开关管导通脉宽由阴极电源反馈控制，在行波管螺线电流变化时,势必造成收集极电源的大幅变化,直接影响行波管工作。那么是什么原因导致这种现象,有没有好的解决方法,针对这个问题,我们先从开关电源的原型电路——Buck 电路开始分析。

3　Buck 变换器

Buck 变换器如图 2 所示，控制电路控制 VMOS 管的开通与关断，形成图 3 所示的两种状态,Buck 变换器按电感电流状态可分为电感电流连续工作模式和电感电流不连续工作模式。两种模式下,电路各点波形如图 4 所示。

由参考文献[1]的分析可知,在电感电流连续时,电源增益为

$$G=\frac{V_0}{E}=D_1$$

在电感电流不连续时,电源增益为

$$G=\frac{V_0}{E}=\frac{D_1}{D_1+D_2}=\frac{2}{1+\sqrt{1+\frac{8\tau_L}{D_1^2}}}$$

式中:$\tau_L=\frac{L}{R_L T_s}$。

由上面两个增益公式,可以看出,电感电流连续与否是电源外特性好坏的决定因素。

4　高压电源电路分析

从上面对 Buck 变换器增益分析可知,当电感电流连续时,输出电压只与源电压及占空比有关,与负载无关;而当电感电流不连续时,输出电压还

上述 3 图中:E 为输入电源电压;

T_s 为开关周期;

D_1 为 VMOS 开关开通占空比;

D_2 为 VMOS 开关关断、续流二极管导通占空比;

i_L 为电感电流;

V_0 为输出电压;

R_L 为电源负载。

受负载的影响。换句话说，Buck 型稳压电源中,负载影响脉宽的直接原因是电感电流的不连续;如果行波管高压电源中,负载不影响占空比,则通过变压器的设计，将螺线电源与收集极电源合在一只高压变压器上输出,应不影响行波管正常工作。

高压开关电源是在 Buck 变换器中适当位置插入高频变压器后形成，由于变压器插入位置的

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

不同，可以演变出多种电路形式，最常见的有推挽、半桥及全桥电路。

如果将变压器插入到 Buck 变换器的电感之后，电容之前形成的电路，该电路具有 Buck 变换器的一些基本特性，但需要一只大的直流电感，控制电路也稍微复杂。若进一步将电路进行变化，将电感移到全桥内，形成图 5 所示电路。该电路中电感由原 Buck 变换器中的直流电感变为交流电感，电感的体积可进一步缩小。

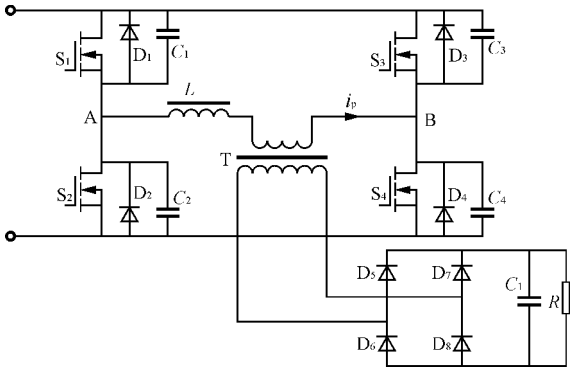


图 5　全桥变换器

图 5 是由 VMOS 开关管构成的全桥变换器，图 5 中二极管 D_1~D_4 为 VMOS 开关管的寄生二极管，电感 L 等效于 Buck 变换器中的电感，续流功能则由 VMOS 开关管及其寄生二极管完成。

如果全桥变换器由 UC3875 来控制，则该电路又具备了软开关特性，波形如图 6 所示。

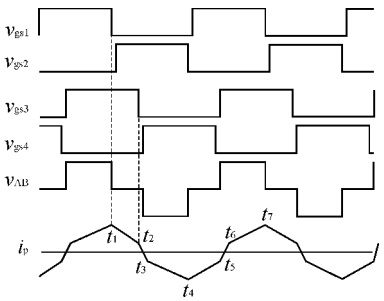


图 6　全桥变换器波形

为了叙述，波形图作了较大简化。t_1 时刻，S_1 关断，L 通过 C_1、C_2 及 S_4 续流，U_A=0，v_{AB}=0；t_2 时刻，S_4 关断，L 通过 D_2、C_3 及 C_4 续流，B 点电位迅速升高，v_{AB}=-E，变压器初级反相，变压器次级因此反相；次级整流管一对正向导通，另一对处于反向恢复，由此形成次级瞬间短路，初级电流快速下降，到 t_3 时刻这一过程结束，完成换相过程；t_3~t_4 期间 S_3、S_4 导通，反向输能，初级电流缓慢上升；t_4 时刻起，开始反向续流过程。

如果电感设计合理，到 t_2 时刻初级电流降为 0，换流后，初级电流将由 0 开始增大，这种状态正等效于 Buck 变换器电感电流临界连续状态，因而此时的状态具有优良的外特性。尽管在实际使用中难于满足这一理想状态。如果设计合理，t_2~t_3 较短，此时的状态近似理想状态，符合螺线行波管对螺线电源及收集极的要求。因此可以通过这种方式，用一只变压器同时输出两组高压。

5　实验结果

图 7 所示为行波管高压电源实验图，U_k 为阴极电压，U_c 为收集极电压；行波管参数给定时，阴极电压以地为参考，收集极电压以阴极为参考。R_c 为收集极等效负载，R_h 为螺线负载；当一只宽带行波管在整个频段内工作时，螺线电流会发生变化，而收集极电流可以认为不变，因此，试验过程中 R_c 不变（R_c=17 kΩ），以下给出一些中间试验数据，U_i 为交流输入电压，整流滤波后接到+E 与-E 之间。实验数据如表 1 和表 2 所列。

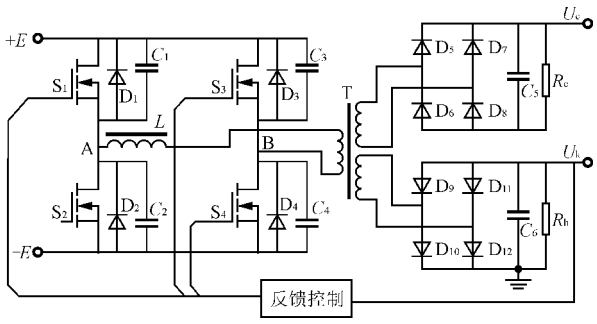


图 7　行波管高压电源略图

表 1　U_i 不变，R_h 变化，U_k≈-1 400 V

电阻/kΩ	U_k 电压/V	U_c 电压/V
460	-1435	745
260	-1432	779

表 2　R_h=260 kΩ，U_i 变化，U_k≈-1 400 V

U_i 电压/V	U_k 电压/V	U_c 电压/V
212	-1434	746
236	-1436	750

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

从测试数据看，两组电源稳定度应能满足行波管一般要求。对电路中相关部分作参数调整后，可得到满足行波管要求的高压输出。

6 结语

文章通过 Buck 变换器原型电路，演变出高压开关电源的一种电路形式，简单分析了这种电路形式在多输出电源中的实用性。文章所作分析还很粗陋肤浅，希望能起个抛砖引玉的作用，但愿同行专家批评指正，并参与高压开关电源的讨论，让广大从业人员受益。

参考文献

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

[2] 中国电源学会. 第十三届全国电源技术年会论文集[C]. 深圳，1999.

作者简介

谢章贵(1966-)，男，1988 年毕业于西北工业大学航海工程系，2001 年获东南大学工学硕士学位，多年来一直从事行波管高压电源的研制工作。

IR 高效 iMOTION™ 平台

全球功率半导体和管理方案领导厂商——国际整流器公司(International Rectifier，简称 IR)日前推出用于空调应用的电机控制平台，不仅可以实现 95%的效率，还能够降低噪声、简化机械构造。IR 的 iMOTION™ 集成功率设计平台可以实现节能、变速正弦电流控制，无需用于稳定输出转矩和降低电机噪声的位置传感器。

IR 的功率设计平台是一个优化的系统结构，结合了 IR 专有的高压集成电路(HVIC)技术与模拟、数字和功率模块及数字控制算法，可用于采用 DC 连接相位电流感应的无传感器电机控制应用。

该空调平台采用专有控制算法，可用于压缩机、风扇的内部永磁同步电机，还包含功率因数校正。这些功能与 IR 的专用 HVIC 及分立 IGBT 结合可实现 95%的转换效率。

数字部分

iMOTION 的数字模块包括数字控制 IC 中的 IRMCF3xx 系列。这些集成电路包括 IR 专利的运动控制引擎(MCE)，完善以硬件实现了复杂无传感 PMSM 控制算法，可在开发中省掉软件编码。IRMCF3xx 系列也嵌入了模拟信号引擎 ASE，集成了实现单电流分流无传感控制的所有信号调节和转换电路。该运动控制引擎可在大约 11μs 内执行无传感磁场定向控制算法，这是实现风扇和压缩机电机及 PFC 电路同步控制的重要功能。在同类器件中，IRMCF311 和 IRMCF312 是目前唯一可用一个器件同时控制三个系统的。

IRMCF3xx 还包括应用层处理器，它可使空调系统的运行独立于控制风扇和空调电机的 MCE 引擎。易用的工具便于工程师评估控制器的性能，用最小的投入定制控制算法，因此家电工程师可以集中精力于应用，而不是在电机控制功能方面。

模拟部分

模拟模块包括三相模拟驱动器和保护 IC IRS2136D 系列。这些集成电路集成了 3 个独立的 600V 内置自举二极管的半桥逆变栅极驱动器。其保护功能包括逆变过流切断和自动纠错功能的欠压闩锁。这些模拟栅极驱动器可以在产品生命周期和参数匹配期间稳定地传送参数，例如对高低端通道的传输延迟、死区时间插入等。分立的电源和信号接地连接可将单 DC 线路与低侧 IGBT 进行配置，用来检测电流。

功率平台

新型 IRS2136D 与 IR 卓越的高效损耗阻滞沟道 IGBT 一起可提供包括分立和集成模块的广泛配置。与穿透型(PT)和非穿透型 (NPT) IGBT 相比，沟道 IGBT 具有更低的集电极-发射极饱和电压、VCE(ON) 和总开关损耗。

供货及价格

新型 iMOTION 空调平台已经向合格客户提供样品。价格随功率大小、配置和选择的芯片组而有所不同。由 IRMCF3xx 控制器、3 个功率级、压缩机控制、电风扇和 PFC 组成的芯片组有助于使空调的整体系统节能 20%。该芯片组可用于 2kW 额定输入电压的系统，100 万片的价格为 19.95 美元。价格可能有所变动。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn