

文章编号: 1005-0523(2007)04-0067-04

# 开关线性复合电源探讨

胡文华<sup>1,2</sup>

(1. 华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 华中科技大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**介绍了一类由开关放大电路与线性放大电路复合而成的电压跟随器型电源, 分析其构成原理, 拓扑结构. 理论分析、仿真和实验结果表明它具有高效与优波兼顾的特性, 以及适应多类负载(含非线性负载)和抗负载扰动的能力.

**关键词:**功率变换; 开关线性复合电源; 高效; 优波; 鲁棒性.

中图分类号: TM564

文献标识码: A

## 1 引言

电源装置向负载供电的过程, 总希望装置本身的损耗尽可能小, 且同时满足负载要求的特定供电波形; 该波形有足够的负载鲁棒性, 即尽量不随负载扰动(大小或参数的改变)而变化, 甚至对多类负载(阻性、感性、容性、非线性负载)具备较强的适应能力<sup>[1]</sup>.

随着电力电子器件的发展, 功率变换技术已从晶闸管工频移相控制技术为主, 发展到以 PWM 技术为主. 通过提高电力电子器件的开关频率, 在一定程度上解决了波形质量问题. 但一方面开关频率的提高要受到电力电子器件本身的限制, 另一方面开关频率的提高会引发了 EMI 问题<sup>[2]</sup>. 虽然软开关技术的应用在一定程度上可以缓解 EMI 问题, 但这又使整个系统变得复杂. 而且 PWM 功率变换器经简单滤波后, 其输出波形易受负载类型变化、参数变化和载荷突变的影响, 往往满足不了高性能电源的要求.

事实上, 在某些对电源性能要求很高的场合, 至今仍未能以小体积的开关电源取代, 一直沿用线性电源. 在高压系统甚至不得不采用真空器件的线性电源. 这种状况严重地阻碍了现代电力电子技术推

动特种电源技术更新的进程.

本文提出一种开关线性复合技术, 介绍它的的基本概念、拓扑结构, 在此基础上研究了开关线性复合技术(SLH)变换器的特性, 尤其研究了由于复合而形成的系统具有的负载适应性和鲁棒性.

## 2 开关线性复合电源工作原理

围绕实现优波、多类负载适应性和抗突变负载扰动能力兼顾的需求, 射极跟随器型线性电路成为首选对象, 但其效率一般不满足功率级工业应用要求(直流供电时)<sup>[3]</sup>. 而开关电路效率虽高, 但经简单滤波后, 输出波形易受负载类型变化、参数变化和载荷突变的影响. 如果将二者有机结合, 后者仅作为前者的供电电源, 让线性电路中的射极跟随器功率管工作在临界饱和, 偏线性侧; 二者跟踪同一参考信号源(由负载需求所决定), 则组成的开关线性复合功率变换器将体现优波高效兼顾, 负载多类性、参数可变性和抗载荷冲击能力.

开关线性复合(SLH)变换器原理框图如图 1 所示. 它包括开关滤波单元、线性单元、负载、参考信号和电压放大电路. 其中, 参考信号同时控制开关滤波单元与线性单元, 电压放大电路的输出作为栅极控

收稿日期: 2007-03-26

基金项目: 华东交通大学校立科研基金资助项目(06ZKDQ07)

作者简介: 胡文华(1972-)男, 江西南昌人, 华东交通大学讲师, 研究方向为电力电子与电力传动. <http://www.cnki.net>

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All Rights Reserved.

制信号. 根据开关滤波单元、线性单元与负载的联结方式的不同, 又可以将开关线性复合变换器分为并联型开关线性复合(PSLH)变换器和串联型开关线性复合(SSLH)变换器<sup>[4]</sup>.

在开关线性复合变换器中, 线性单元采用射(源)极跟随器的结构, 由于其高阻输入低阻输出的特性使得开关线性复合变换器具有良好的静、动态性能<sup>[5][6]</sup>. 开关滤波单元只是作为线性单元供电的特殊电源. 由于参考信号  $V_r$  同时控制开关滤波单元与线性单元, 使得开关滤波单元的输出  $V_s$  与线性单元栅极控制信号  $V_g$  相位相同, 同时调节电压放大电路使  $V_g$  与  $V_s$  的幅值只相差  $3\sim 5\text{ V}$ . 从而让线性单元工作在射极跟随状态, 使得负载电压  $V_o$  跟随电压放大器的信号  $V_g$ , 始终与供电电源  $V_s$  一致. 这些波形频率、相位与参考信号相同, 幅值与参考信号成比例, 因此它们的形状相同. 只要调节  $V_s$  大于  $V_g$ , 且它们之间的电压差维持在  $3\sim 5\text{ V}$  之间, 则消耗在线性单元中功率器件上的损耗就可减小. 从而保证了线性单元的效率高达  $94.4\%$ <sup>[7]</sup>. 因此整个系统的效率也较高.

实际上, 由于射极跟随器的低输出阻抗特性, 射级跟随器能够在不管负载在突变还是在改变性质(比如从阻性变为阻感、阻容或者非线性)的情况下, 均能保持输出不变性. 事实上, 在射极跟随器电路中, 存在一个反馈回路, 能够维持输出电压保持不变. 其调节过程如下(参考图 4):

$$v_o \downarrow, \rightarrow i_o = v_o / R_L \downarrow, \rightarrow v_{gs} = (v_g - v_o) \uparrow, \rightarrow i_o \uparrow, \\ \rightarrow v_o = i_o R_L \uparrow.$$

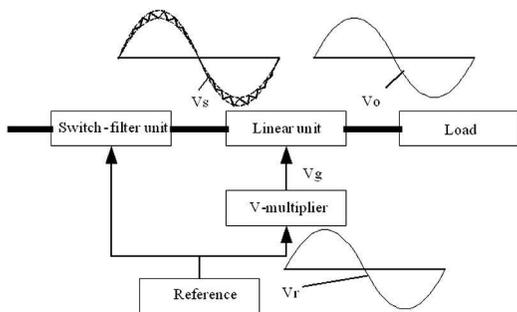


图 1 开关线性复合变换器原理框图

### 3 仿真与实验

对单相线性单元电路进行 Pspice 仿真, 其仿真电路图如图 2 所示. 其仿真波形如图 3 所示. 由图 3 可知, 无论供电电源是方波电源还是正弦波电源, 当

栅极信号小于供电电源时, 负载电压跟踪栅极信号, 这与经典电子技术理论是相符的. 这表明对于电力电子器件, 其经典电子技术理论同样适合. 因此只要栅极信号无谐波, 就能得到完美无谐波的负载电压.

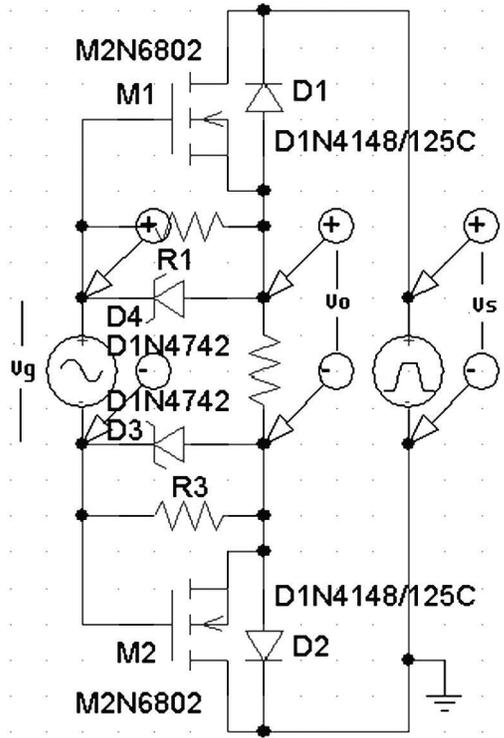
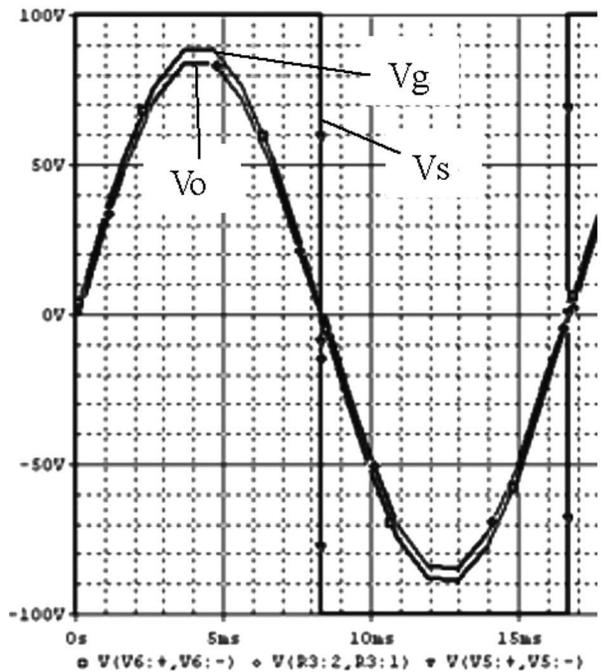
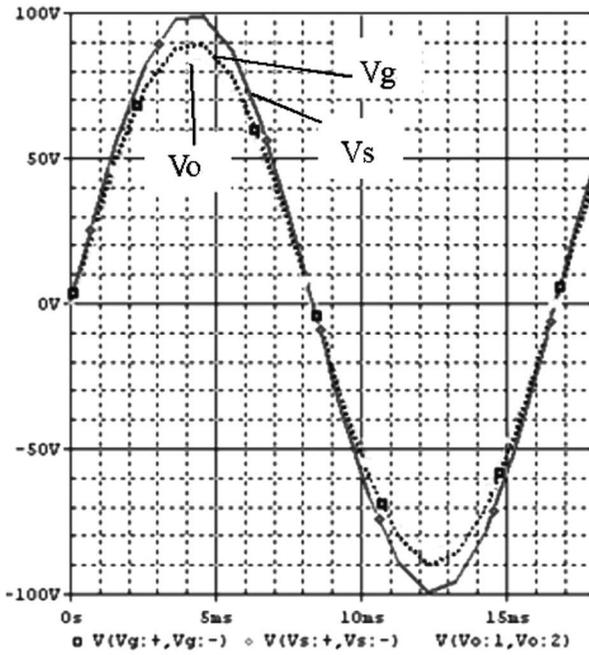


图 2 单相线性单元 Pspice 仿真电路图



(a) 供电电源方波, 栅极信号为正弦时仿真波形



(b) 供电电源和栅极信号均为正弦时的仿真波形

图3 单相线性单元 Pspice 仿真波形

图4是单相线性单元实验电路图。在图4中,由于供电电源与栅极信号电源都是取自同一个电源网络,而且调节栅极信号电压只比供电电源电压低3~5V,从而使得线性单元的功率管工作在临界饱和和区偏线性的一侧,也就是说工作在射极跟随器状态。因此负载电压跟随栅极信号电压,只要控制栅极信号为负载需要的波形,就能在负载上得到所需的波形。而且负载电压只比栅极信号电压低一个功率管的管压降。由于是射极跟随器,所以即使是在负载突变的情况下,负载上的电压也可完全跟踪栅极信号电压,且能适应多种负载,包括非线性负载。这些性能可以从图5中看出。其中(a)表示跟随特性,(b)、(c)、(d)表示负载适应性和鲁棒性。

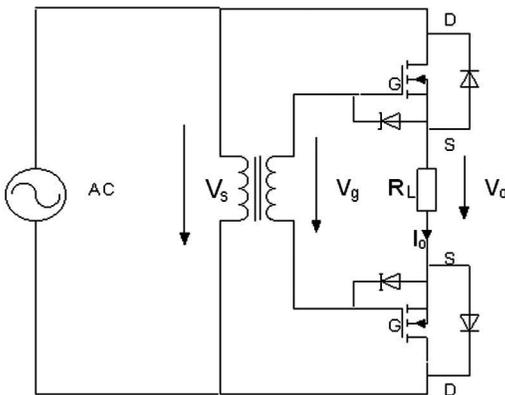
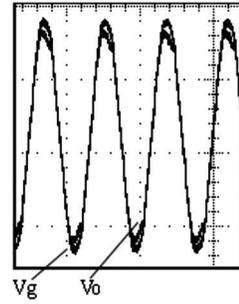
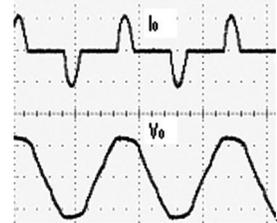


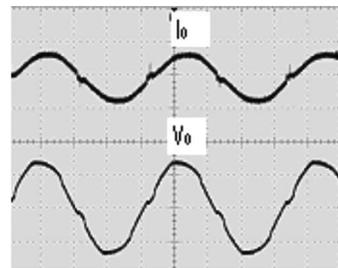
图4 单相 SLH 实验电路图



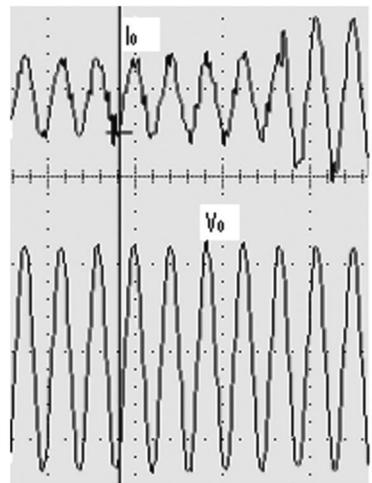
(a) 负载电压跟踪栅极信号电压波形



(b) 整流滤波加电阻负载时电压、电流波形(R=100 Ω)



(c) 整流滤波加阻感性负载时电压、电流波形(R=100 Ω)



(d) 当R突变时(200 Ω变到100 Ω)纯阻性负载电压、电流波形

图5 单相 SLH 实验波形图

### 4 结论

SLH是一种将开关技术与线性放大技术有机结合在一起的功率变换技术,理论分析、仿真和实验结

果表明:开关线性复合技术在优波、高效、多类负载(含非线性负载)适应性,抗负载扰动波形不变(快速动态响应)鲁棒性方面具有综合优化性能指标.它能满足某些负载多样化和高性能场合的需要.其在带2台电脑的情况下电压波形的THD=1.03%,而普通SPWM电源在带相同负载的情况下电压波形的THD=4.02%.

#### 参考文献:

- [1] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 钱照明,等.开关电源的EMC设计[N].浙江电源之声,2000.
- [3] 康华光,陈大钦.电子技术基础—模拟部分[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [4] Qianzhi Zhou, Wenhua Hu, Bin Wu, Mouzhi Dong. Switch—Linear Hybrid Power Conversion ( I )—The Topologies Based on Source Follower [C]. ICIEA2006. 1118~1124.
- [5] 周谦之,李定,张捍东.开关—线性复合功率变换技术机理和实效分析[J].电工技术学报,2002.17(4):75~79.
- [6] Qianzhi Zhou, Luseng Ge. Switch linearity hybrid power conversion (SLH) with low output resistance[C]. Proc. of IPEMC' 2004, (1):96~98.
- [7] Wenhua Hu, Bin Wu, Mouzhi Dong, Qianzhi Zhou. Switch—Linear Hybrid Power Conversion ( II )—Typical Analyses in the Topology's High Efficiency [C]. ICIEA2006. 1125~1129.

## The Research on Switch Linearity Hybrid Power Converter

HU Wen-hua<sup>1,2</sup>

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. Central China University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper introduces a voltage follower type of supply hybridized by the switch filter unit with the linear unit, analyzes the principle of the composition, the topology of Switch Linearity Hybrid (SLH) power converter. The theory analysis, simulation and experimental results show that the SLH power converter possesses the characteristics of high efficiency, low THD, the capacity suitable to varied kinds of loads (including non—linear load) and resistance load disturbance.

**Key words:** power converter; switch linearity hybrid; high efficiency; good waveforms; robustness.