

# 基于DSP的串并联谐振逆变器研究

孙璐<sup>1</sup>, 陆文杭<sup>2</sup>, 徐顺刚<sup>3</sup>

(1.四川托普信息技术职业学院计算机系, 四川 成都 611743; 2.西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031; 3.重庆师范大学 物理学与信息技术学院, 重庆 400047)

**摘要:**针对串并联谐振拓扑电路结构的特点,用PSPICE软件仿真了电路在容性负载和感性负载时开关管续流值的大小,通过仿真可知,改变谐振电路的参数能够减小开关管的续流,提高功率因数,进而减少了开关压力和电磁干扰,为负载提供了一个稳定的、高品质的高频交流电,利用DSP芯片做试验验证了该方法的正确性。

**关键词:**串并联;PSPICE;谐振;DSP;功率因素

中图分类号: TG434.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)06-0077-04

## Study on serial-parallel resonance inverter with DSP

SUN Lu<sup>1</sup>, LU Wen-hang<sup>2</sup>, XU Shun-gang<sup>3</sup>

(1.Department of Computer, Sichuan TOP Vocational Institute of Information Technology, Chengdu 611743, China; 2.School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 3.College of Physics and Information Technology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract:** Aim at the characteristic of topology structure of serial-parallel resonance circuit, the PSPICE software was used to simulate the circuit operating on capacitance/inductance characteristic load, simulations show that changing the parameter of the resonance circuit can reduce the continuous current magnitude of the power switch, for this, the power factor can be increased, and then the switch pressure and EMI (Electra Magnetic Interference) will be decreased, and finally the load can receive the high frequency AC with stable and high character. The experimental results verify the validity of the method based on DSP (Digital Signal Processor).

**Key words:** serial-parallel; PSPICE; resonance; DSP; power factor

## 0 前言

串并联谐振电路在各行各业中得到了广泛应用。电焊机负载如果需要高频的交流电,可以通过该电路实现;独立光伏照明系统中其电路结构一般由电磁兼容、全桥整流、功率因素校正、串并联谐振等电路组成。但是在串并联谐振电路中,由于开关管的高频开或关时将造成系统的电磁干扰、谐波成分增加。在此详细分析了串并联谐振电路的工作原理,通过改变谐振电路的参数能够提高输出交流电流的品质,最后通过仿真和实验验证了该方法的正确性。

## 1 谐振电路理论分析

谐振电路如图1所示,图1中两个开关管不能

同时导通,否则会造成短路,烧坏太阳能电池板的旁路元件、开关管及其他元器件。因此,必须要有一段时间间隔使这两个开关管同时处于截止状态,即死区时间。从图1还可以看出,半桥逆变串并联谐振输出回路是由两个电容(谐振电容、滤波电容)和一个电感及负载组成。由于电感电流不能突变,在开关管上并联二极管,在死区时间内,电感电流通过二极管续流。但是开关管的工作频率越高,续流二极管的开关频率也就越高,高频的续流将引起短时间的高频电磁噪声并耦合到电路中,产生电流(电压)浪涌等,从而对系统造成损坏。因此,既要保证电路中续流开关管具有足够的死区时间,又要减小死区时间内二极管的续流电流。

## 2 串并联谐振回路的续流分析

对于图1所示电路,首先作如下假设:(1)在一个开关周期内,直流电压 $U$ 恒压;(2)开关管IGBT<sub>1</sub>、

收稿日期:2008-12-29

作者简介:孙璐(1977—),女,陕西西安人,讲师,主要从事计算机应用技术方面的研究工作。

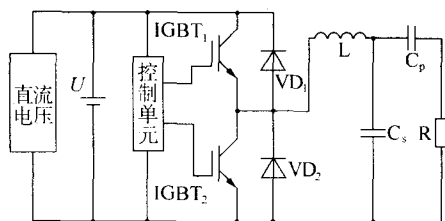


图 1 串并联谐振电路拓扑结构

IGBT<sub>2</sub> 和续流二极管 VD<sub>1</sub>、VD<sub>2</sub> 均为理想器件,即开关管 IGBT<sub>1</sub>、IGBT<sub>2</sub> 的寄生电容和二极管的导通电阻为零,确保零电压导通,零电流关断;(3)谐振电路的品质因素 Q<sub>L</sub> 高,因此,通过电感 L、电容 C<sub>p</sub>、负载 R<sub>L</sub> 的电流为正弦波;(4)直流滤波电容 C<sub>s</sub> 足够大,从而忽略交流电压的纹波。当开关管 IGBT<sub>1</sub>、IGBT<sub>2</sub> 同时关断,图 1 的电路存在两种工作状态如图 2 所示。

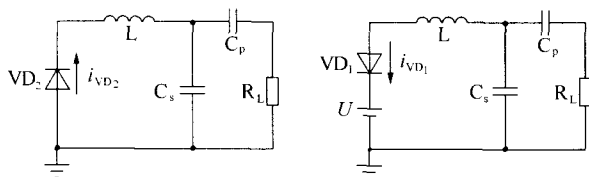
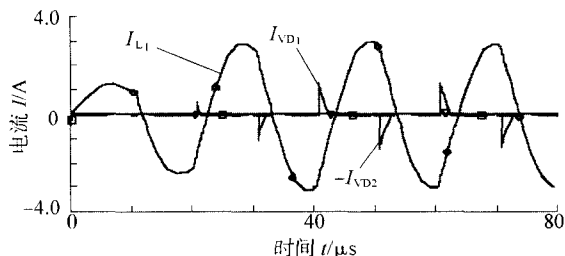


图 2 电路状态

针对图 1 所示电路的负载,当分别为感性和容性时进行了仿真研究。当负载为感性负载时,仿真结果如图 3 所示。图 3 中 I<sub>L1</sub> 为流过电感 L 的电流, I<sub>VD1</sub> 为流过续流二极管 VD<sub>1</sub> 的电流, I<sub>VD2</sub> 为流过续流二极管 VD<sub>2</sub> 的电流。从仿真结果可看出,在死区时间内,由于续流二极管的续流作用,开关管两端不会产生瞬态高压,在响应近似为正弦曲线时,二极管的尖峰电流较大,由于续流二极管 VD<sub>1</sub> 和 VD<sub>2</sub> 与开关管 IGBT<sub>1</sub>、IGBT<sub>2</sub> 并联,故可使开关管实现零电压导通,完成 DC/AC 高频变换。零电压导通能消除由开关管的输出电容和寄生电容放电引起的开关损耗,从而提高效率。



f=50 kHz, L=0.5 mH, C<sub>p</sub>=80 nF, C<sub>s</sub>=470 nF, R=300 Ω

图 3 感性负载 pspice 仿真波形

同理可以分析容性负载的情况,如图 4 所示。

从仿真分析可以看出,在满足以上假设的理想情况下二极管的高频续流电流值都比较大,在实际应用中其续流值将更严重,因此必须减小二极管的续流值,否则会给系统带来危害,甚至使系统不能工作。

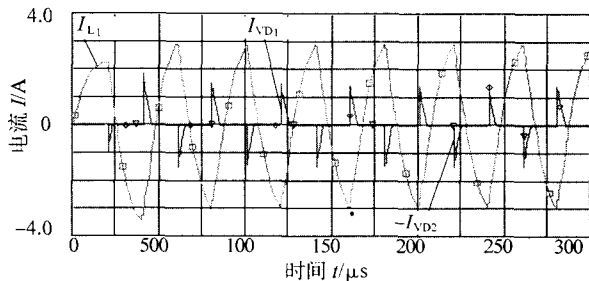


图 4 容性负载 pspice 仿真波形

### 3 减小续流值的方法

串并联谐振回路中,在正弦稳态情况下,回路的阻抗为

$$Z=A+jB \tag{1}$$

$$A=\frac{R}{1+(\omega RC_s)^2} \tag{2}$$

$$B=\omega L-\frac{1}{\omega C_p}-\frac{\omega R^2 C_s}{1+(\omega RC_s)^2} \tag{3}$$

流过电感的电流 I<sub>L</sub>,即回路谐振电流为

$$I_L=\frac{\sqrt{2} U}{\pi |Z|} \tag{4}$$

$$\phi=\arctg \frac{B}{A} \tag{5}$$

式中 U 为直流电源电压值。

假设电感电流 I<sub>L</sub> 和开关管电压的相位角为 φ,当 φ 增大时,续流值增大;当相位角 φ 减小时,续流值减小。因此,减小续流值可以通过减小相位角 φ。为了研究问题的方便,假设图 1 中的谐振电容 C<sub>p</sub> 足够小,则 ωRC<sub>s</sub>≈0,由此可得 A≈R。

由于流过电阻 R 的电流 I<sub>R</sub> 和流过电感的电流 I<sub>L</sub> 的相位差为 θ=-arctan(ωRC<sub>s</sub>),其幅度比为

$$\left| \frac{I_R}{I_L} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC_s)^2}} \tag{6}$$

故当谐振电容 C<sub>p</sub> 足够小时, I<sub>R</sub>≈I<sub>L</sub>。

$$Z=A+jB=R+jB \tag{7}$$

而

$$|Z| = \frac{\sqrt{2} U}{\pi I_L} = \frac{\sqrt{2} U}{\pi I_R} \tag{8}$$

$$B=\sqrt{|Z|^2-A^2}=\sqrt{|Z|^2-R^2} \tag{9}$$

则

$$\phi = \arctan \frac{B}{A} = \arctan \frac{1}{R} \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2} U}{\pi I_R}\right)^2 - R^2} \quad (10)$$

所以最小续流值为

$$I_{L\min} = \sqrt{2} I_R \sin \phi_{\min} \quad (11)$$

由式(11)可知,可以通过减小  $\phi$  的方法来减小续流。

从图 1 可知

$$U(t) = U, 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \quad (12)$$

$$U(t) = 0, \frac{T}{2} \leq t \leq T \quad (13)$$

对式(12)和式(13)进行傅立叶变换可得

$$U(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left( a_m \cos \frac{2\pi mt}{T} + b_m \sin \frac{2\pi mt}{T} \right) \quad m = 2n-1, n=1, 2, \dots \quad (14)$$

其中  $a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(t) dt = \frac{U}{2}, a_m = 0$

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(t) \sin m t dt = \frac{2U}{m\pi}$$

则

$$U(t) = \frac{U}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ \frac{2U}{(2n-1)\pi} \sin \frac{2(2n-1)\pi t}{T} \right] = \frac{U}{2} + \frac{2U}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{2U}{3\pi} \sin(3\omega t) + L \quad (15)$$

式(15)中基波和 2 次及以上高次谐波分量叠加后的波形如图 5 所示<sup>[7]</sup>,其中只有基波  $H_1$  才做有功,其余的做无功,造成附加损耗。

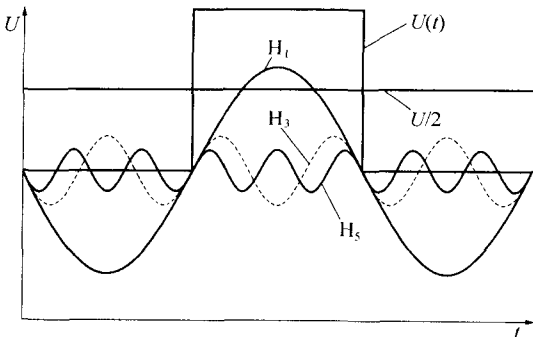


图 5 各分量叠加成矩形波

谐振回路阻抗  $Z$  的实部和虚部都是开关角频率  $\omega$  的函数,即

$$Z(\omega) = A(\omega) + jB(\omega) \quad (16)$$

根据电力系统或负载功率因素原理:用容性电

流去抵消感性电流,从而使电力系统的电流与电压相位一致,提高功率因素并接近“1”。

### 4 实验结果

根据以上分析,设计外围电路,具体的参数值为: $R=300 \Omega, U=330 \text{ V}, L=0.5 \text{ mH}, C_s=80 \text{ nF}, C_p=470 \text{ nF}$ 。

针对所设计的电路进行了实验研究。串并联谐振电路测试波形如图 6 所示,波形 B 为其中一个开关频率为 46 kHz 的开关管的触发波形,波形 A 为图 1 所示电路中续流二极管的电流波形。从图 6 可以看出,在开关管上升和下降时间及死区时间,二极管续流电流有明显的瞬态冲击响应和续流冲击响应,说明二极管续流电流一定存在。由图 6 可看到续流电流很小(87 mA),同时开关管近似零电压导通、零电流关断。



图 6 串并联谐振电路测试波形

### 5 结论

通过谐振电路的理论分析可知,减小二极管的续流电流值不仅可以起到保护系统的作用,而且可以使整个控制系统谐波更小,并降低电磁干扰,提高功率因素,延长系统的使用寿命。该研究提出了一种减小续流电流值的方法,并通过试验验证了理论分析的正确性,该方法也可以用于其他高频单相逆变电源。

### 参考文献:

[1] Schaefer J C.Review of photovoltaic power plant performance and economics[J].IEEE Transaction on Energy Conversion, 1990, 5(2): 232-238.  
 [2] Cai X S.Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy[J].Renewable Energies, Present & Future, 2005, 24 (1): 69-75.

间的连接关系和方式大有讲究,而这一点恰恰是一些人不太理解或容易被忽视的。根据有关规定,电焊机外壳和二次绕组与焊件相连接的一端必须接地或接零。其目的有二:其一是在一定程度上防止二次绕组的空载电压对人的伤害;其二是防止当一次绕组的绝缘击穿时,一次电压直接窜入二次绕组中对人体造成更大的伤害<sup>[6]</sup>。

在实际工作中,曾有不少因焊接电缆和保护接地线(或接零线)连接不当而造成的烧损接地线(或接零线)并引发火灾、爆炸和人身触电事故的案例,如焊件线的电源端没有直接接到电焊机二次侧的焊件线接线端子上,而是由于某种原因接到了截面积较小的与电焊机焊件线接线端子相连的接地线(或接零线)上;另一种错误是在电焊机外壳和二次绕组与焊件相连接的一端已经接地或接零,而且焊件线也直接接到了电焊机二次侧的焊件线接线端子上,但是在焊件上重复接地或接零,或者是焊件及其与之相连的其他部位原先已经存在接地装置或自然接地效果。

此外,多台电焊机的保护接地(或接零)应分别进行,实行并联保护接地(或接零),不得串联保护接地(或接零)。因为并联保护接地(或接零)的可靠性远高于串联,串联时若某台电焊机的保护接地(或接零)线发生故障(如断开、接触不良),可能殃及其他电焊机,并联保护接地(或接零)则不存在这种问题。

总之,为了确保焊接操作人员、电焊设备和周围财产的安全,通常应在电焊机的二次回路实行“一点接地”(或接零),一般情况下应将电焊机外壳、焊件线、保护接地线(或接零线)一同接到电焊机二次侧的焊件线接线端子上,而且有多台电焊机投入使用时,必须实行并联保护接地(或接零)。

### 1.10 电焊钳与焊接电缆的维护与保养

作业完成后要及时清除电焊钳和焊接电缆上


的油腻、污垢、水汽和锈迹,长时间不用时,应将其存放在干燥、无污染、无腐蚀性介质房间的搁架上。平时要定期检查焊接电缆和电焊钳的结构状况和绝缘性能,焊接电缆的外皮绝缘层和焊钳的绝缘部件必须确保完整无缺,绝缘性能应保持良好的,使用 500 V 兆欧表测其绝缘电阻不得小于 1 MΩ。若绝缘层裂纹或破损,应及时进行绝缘修补,直至绝缘性能达到要求。通常情况下,每半年进行一次例行维修保养。

## 2 结论

电弧焊是直接利用电能的一种机械加工工艺,由于是亲手同“电老虎”打交道,所以要慎之又慎。以上讨论的只是电焊钳和焊接电缆方面的安全要领,而对于电焊机和保护电器以及焊接作业方面还有很多安全要求。电焊作业中的各类事故曾经夺去了许多人的健康或生命,也曾造成过无数的财产损失。在“以人为本”和“构建和谐社会”、落实“科学发展观”的当今时代,广大电气工作者、管理者和电焊职工更应当珍惜生命,关爱健康,提高安全意识,消除安全隐患,把各类不安全因素及事故苗头消灭在萌芽状态,切实做到防患于未然。

### 参考文献:

- [1] 祁政敏,李保法,余如春,等.施工现场用电安全手册[M].北京:中国计划出版社,2006.
- [2] 张应立,张 莉.焊接安全与卫生技术[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 山西省电力公司.焊接与高处安全作业[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [4] 北京市工伤及职业危害预防中心.焊工[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 电世界杂志编辑部.实用接地技术[C].上海:电世界杂志社,1996:49~50,247~248.
- [6] 任廷春,胡永旺,曾金传,等.弧焊电源[M].北京:机械工业出版社,2005.

Page 79 

- [3] Chung H S H, Tse K K, Hui S Y R, et al. A novel maximum power point tracking technique for solar panels using a SEPIC or Cuk converter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2003, 18(3): 717-724.
- [4] Eugene V Solodovnik, Shengyi Liu, Roger A Dougal. power controller design for maximum power tracking in solar installations[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2004, 19(5): 1295-1304.

- [5] Walker G R, Semia P C. Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2004, 19(4): 1130-1139.
- [6] Strong S J. World overview of building-integrated photovoltaics [C]. Conference Record of the Twenty Fifth IEEE, Washington, DC, IEEE, 1996: 1197-1202.
- [7] 张卫平.绿色电源——现代电能变换技术及应用[M].北京:科学出版社,2001.