

# 采用电感电流内环的 UPS 控制策略研究

熊慧洪, 裴云庆, 杨旭, 王兆安

(西安交通大学, 陕西 西安 710049)

**摘要:**介绍了一种基于输出电感电流内环的电压瞬时值反馈 UPS 设计方案;详尽分析了其系统模型;阐述了电压调节器和电流调节器的整定方法。采用该设计方案对一台 1kVA UPS 进行实验,取得了较好的实验结果。

**关键词:**不间断电源;控制;瞬态特性

**中图分类号:** TN86 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-100X(2003)04-0025-03

## Research on the Control Strategy for UPS with Inductor-current Feedback Loop

XIONG Hui-hong, PEI Yun-qing, YANG Xu, WANG Zhao-an

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** This paper presents the design of instantaneous inductor-current and output-voltage feedback loop control strategy for UPS. The system model is analysed in detailed. The control strategy is applied on a 1kVA UPS and experimental result is good.

**Key words:** UPS; control; instantaneous performance

## 1 引言

为了保证重要部门电力供应的连续性和可靠性,消除电网干扰对用电设备的影响,也为了避免负载对电网产生干扰,不间断电源(UPS)已成为不可缺少的备用电源。UPS 作为一种含有储能装置、以逆变器为主要组成部分的恒压恒频电源设备,主要用于为单台计算机、计算机网络或其它重要设备提供不间断、高质量的电力供应,以及作为机场、电站、医院等重要部门的备用电源<sup>[1]</sup>。因此,高可靠性和高质量是对 UPS 的最基本要求。

传统的控制方法是采用单一的电压有效值控制方法,该方法只能保证稳态输出电压有效值恒定,而电压波形质量得不到保证,电压谐波含量大,动态响应特性不好。近几年,为了克服传统控制方案的不足,许多“瞬时”反馈方案成为研究热点。其中有单一的电压瞬时值反馈、带滤波电感电流内环的电压瞬时值反馈、带滤波电容电流内环的电压瞬时值反馈。设计了一台基于电感电流内环的电压瞬时值反馈的 1 kVA UPS,取得了比较好的控制效果。

## 2 系统建模分析

图 1 示出 UPS 的主电路(逆变器部分)原理图。图中,PWM 逆变器是一个非线性环节,为了能从理论上对 UPS 进行分析,必须得到 PWM 逆变器的线

性化等效模型。当逆变器的开关频率  $f_s$  远大于调制信号  $e_i$  的基波频率  $f_o$ ,并且在不出现过调制时,信号波中的基波信号及低次谐波与逆变器输出电压中的对应分量存在固定的比例关系<sup>[2]</sup>。因此,对于基波及低次谐波而言,PWM 逆变器可看作比例环节,其增益为:

$$k_{PWM} = \frac{U_d}{U_t} \quad (1)$$

式中  $U_d$ ——直流侧电压

$U_t$ ——三角载波的幅值

变压器也可以等效为一个比例环节,其增益为变压器变比  $k$  的倒数。LC 滤波器的电气特性为:

$$\left. \begin{aligned} u_i - u_o &= sL i_L \\ i_L - i_o &= i_c \\ u_o &= \frac{i_c}{sC} \\ i_o &= \frac{V_o}{Z_o} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

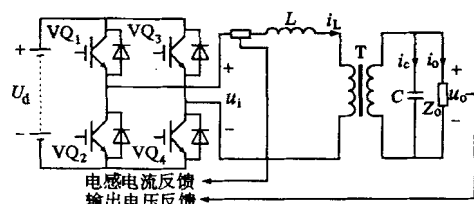


图 1 UPS 主电路原理图(逆变器部分)

根据上述分析,UPS 系统的线性化等效模型如图 2 所示。由图 2 可见,滤波电感电流内环的引入,使滤波电感电流成为可控的电流源。这样,从调节器输出的  $i_g$  到电感电流  $i_L$  之间可看成一个近似的比例环节,使得系统的稳定性大大提高。同时,滤波

定稿日期:2003-04-24

作者简介:熊慧洪(1979-),男,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术。

电感电流内环对包含在环内的扰动,如输入电压的波动、死区时间、变压器励磁特性非线性、电感参数的变化等影响能起到及时的调节作用,系统特性大大改善,但是输出滤波电感电流内环却不能像输出滤波电容电流内环那样对负载电流的变化起到及时的调节作用。考虑到需要采集滤波电感电流做输出短路保护控制,以及输出隔离变压器的隔直特点,采用了滤波电感电流内环控制方案。

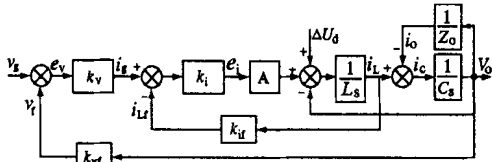


图 2 UPS 控制方案等效模型

图中  $A = \frac{k_{PWM}}{k}$

$u_d$ ——扰动输入,表示系统中非理想因素的影响,包括死区时间效应、直流侧电压波动,变压器励磁特性的非线性等

### 3 调节器的设计

在图 2 所示带滤波电感电流内环的电压瞬时值反馈控制系统中,电压调节器及电流调节器使用的均是 P 调节器。之所以不使用 I 调节器是因为在含有变压器的瞬时控制系统中,变压器很容易产生偏磁饱和。如果调节器中使用了 I 调节器,一旦电压瞬时给定或者电压、电流反馈信号中含有直流分量,即使它非常小,调节器中积分部分的存在也会使调节器的输出单侧饱和,从而使变压器出现偏磁,严重时会使开关管损坏;而不使用 D 调节器是因为调节器中一旦含有微分部分,则给定与反馈信号中的高频干扰信号将被大大增强,使得与三角波比较的信号波中含有大量的高频干扰成分,影响正常的开关控制过程,所以调节器中不宜含有微分部分。因此该系统中电压、电流调节器使用的均是 P 调节器。

在该控制系统中,电压调节器增益  $k_v$  与电流调节器增益  $k_i$  值的整定,直接影响到整个系统的正常工作,选择合适的  $k_v$  和  $k_i$  可使系统有很好的稳定性和动态响应性。随着  $k_v$  和  $k_i$  的增大,输出电压的波形质量提高,并且系统的动态性能也得以提高<sup>[3]</sup>。但是,  $k_v$  过大会使系统工作不稳定,产生振荡;  $k_i$  过大会出现多次相交现象。所谓多次相交是指在一个三角波载波周期内,信号波与三角波的相交次数超过两次<sup>[4]</sup>,如图 3a 所示。在正常情况下,一个三角波载波周期中,信号波与三角波只相交两次,如图 3b 所示。此时开关频率等于三角波的载波

频率,开关频率恒定。发生多次相交时,开关频率将超过三角波载波频率,开关频率将不受控制,开关损耗剧增,输出谐波含量增大。所以,多次相交现在是一种不正常现象,必须避免。

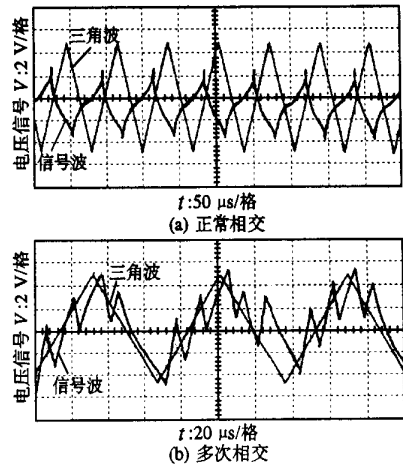


图 3 信号波与三角波相交

实验时可先整定  $k_i$ ,逐渐增大  $k_i$  值,用示波器同时观察三角波和与三角波比较的信号波,直至发生多次相交现象时为止,再适当减小一点  $k_i$  值,留取一定的裕量,该  $k_i$  值就是所需的最佳电流调节器增益。用同样方法再整定  $k_v$  值,逐渐增大  $k_v$  值,直到系统发生振荡为止,再适当减小一点  $k_v$  值,留取一定的裕量。该  $k_v$  值就是最佳的电压调节器增益。

### 4 实验结果

依据图 2 的控制方案,作者设计了一台 1 kVA 电力专用 UPS。电路参数:输入直流母线电压范围为 180 ~ 360 V;输出变压器变比为 2;输出电压有效值为 220 V;输出频率为 50 Hz;输出功率为 1 kVA;滤波电感为输出变压器初级漏感 0.56 mH;滤波电容为 20 μF;开关频率为 15 kHz;逆变桥使用的是智能 IPM 模块,型号为富士公司生产的 6MBP50RA060。该模块集成了驱动及过流保护电路,使用方便。

图 4 示出空载时输出电压波形。表 1 给出空载时输出电压频谱图。可见,系统空载时总的谐波含量 (THD) 为 0.08%,空载时的波形质量相当高。

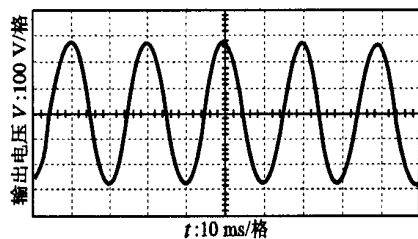


图 4 空载时的输出电压波形

表 1 空载时的输出电压频谱

THD	0.08 %	THD	0.08 %
谐波次数	谐波含量 (%)	谐波次数	谐波含量 (%)
1	100.00	10	0.01
2	0.05	11	0.01
3	0.04	12	0.00
4	0.02	13	0.01
5	0.02	14	0.00
6	0.00	15	0.01
7	0.01	16	0.00
8	0.01	17	0.00
9	0.01	18	0.00

图 5 示出突加或突卸 100 %阻性负载时的输出电压波形。可见,系统的动态性能相当好,几乎看不到调节器过程(实际测量的调节时间 < 0.2 ms),输出电压的稳定度也较高,幅值变化范围不超过 1 %。

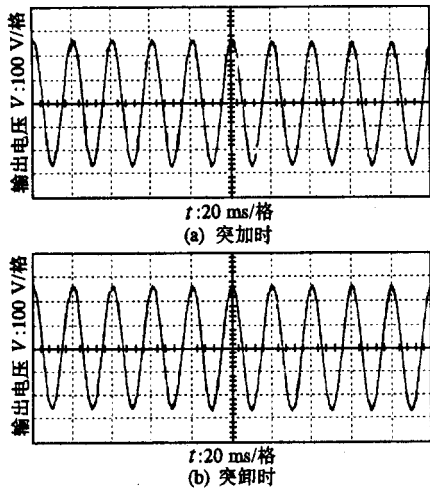


图 5 突加或突卸 100 %阻性负载时的输出电压波形(中间时刻为切换点)

图 6 示出二极管整流负载的功率因数为 0.7 时的输出电压波形。表 2 给出整流负载时的输出电压频谱。系统的总谐波含量为 1.7 %,可见系统在带整流负载时也具有较好的波形质量,系统的负载适

应性很好。

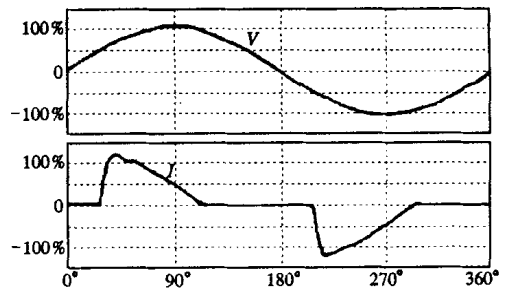


图 6 整流负载时输出电压电流波形( = 0.7)

表 2 整流负载时的输出电压频谱

THD	1.70 %	THD	1.70 %
谐波次数	谐波含量 (%)	谐波次数	谐波含量 (%)
1	100.00	10	0.01
2	0.01	11	0.26
3	1.48	12	0.01
4	0.00	13	0.21
5	0.45	14	0.01
6	0.00	15	0.18
7	0.43	16	0.00
8	0.01	17	0.17
9	0.26	18	0.00

参考文献:

- [1] 王兆安,等. 电力电子设备设计及应用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] Parikh R, Modeling K R. Simulation and Analysis of an Uninterruptible Power Supply [A]. IEEE-IECON '94 [C], 1994, 1(3):485~490.
- [3] 卢家林. IGBT 应用共性技术及大容量高性能逆变电源的研究[D]. 西安交通大学[博士学位论文],2002.
- [4] Wu H Y, Li Dong, Zhang D H, et al. A Current-mode Control Technique with Instantaneous Inductor Current Feedback for UPS Inverter [A]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999, Fourteenth Annual [C]. 1999, 2:951~957.

欢迎订阅《安防科技》杂志

《安防科技》杂志是由国家科技部主办的全国性安防行业的专业技术期刊,是我国唯一通过邮局公开发行的安防杂志。

《安防科技》涉及:周界防范、防盗报警、电子巡更、闭路及远程监控、门禁及身份识别、防火报警与消防控制、广播系统、家庭安防系统及特殊应用环境下的典型产品(如数字硬盘录像、图像压缩与远程传输、防爆监控、红外监控等)。本刊不但重视传播国内外最新的安防产品与技术,而且更侧重于介绍电子安防系统的设计、安装使用、维护与管理,是安全管理人员保护企业财产、人员、设施免遭损害的得力助手。

订阅方式:(1)可随时通过邮局订阅,邮发代号:52-260

(2)可通过本刊发行部直接订阅 汇款地址:西安市 19 号信箱安防科技杂志社发行部,邮编:710054,

联系电话:(029)7857755