

大容量分布式开关电源谐波问题研究

解 蕾¹, 张延迟², 解 大¹

(1. 上海交通大学 电气工程系, 上海 200030;
2. 上海电机学院 电气工程系, 上海 200240)

摘要: 介绍了大容量分布式开关电源的应用现状及存在的谐波问题, 设计了阻波器对大容量分布式开关电源零线的谐波进行抑制。阻波器由电容和电感并联, 外加由小电阻和双向晶闸管构成的保护电路。对设计的阻波器进行了数值仿真, 并应用于某发光二极管(LED)大屏幕的开关电源供电系统。对比阻波器投入前后的电流波形, 由 1 个峰值大且陡的尖脉冲变成了 2 个平缓的尖脉冲, 且电流峰值、3 次谐波分量、零线电流都减小, 改善了设备运行的工况, 保证了继电保护动作的正确性和供电系统的安全稳定运行。

关键词: 开关电源; 阻波器; 谐波

中图分类号: TN 86

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)12-0025-04

0 引言

随着大容量分布式开关电源的广泛应用, 其产生的谐波分量对电网和电气设备造成的影响日益严重, 如何抑制谐波分量成为一个备受关注的问题。

开关电源通常采用大功率半导体器件作为开关元件, 按一定规律控制开关, 调整占空比以调节输出电压的大小^[1-2]。开关电源一般由整流器和滤波电容组成, 交流输入电压进入滤波器、整流器和滤波电容后变换为直流输出电压。运用开关电源后可以方便地调整输出电压的大小, 和相控电源相比甩掉了体积比较大的工频变压器, 使用电性能提高^[3-4]。现今, 开关电源正在逐渐向高频、高可靠、低耗、低噪声、抗干扰和模块化发展^[5-9]。

然而, 大容量分布式开关电源在实际应用时, 交流输入直流整流后紧接着大电容滤波, 其功率因数比较低, 约为 0.6~0.7, 而且开关电源本身是非线性负载, 谐波电流很大, 即使增加了功率因数改善电路(PFC)后, 虽然功率因数提高了, 但是谐波问题仍然存在^[10-14]。由于谐波在零线上的叠加性, 容易造成系统零序保护的误动作, 而且相尖峰电流过大也易引起电流速断保护误动作, 同时系统中谐波电流可能造成变压器的发热、振动和噪声, 进而影响整个系统和变压器的使用寿命。

本文主要研究了大容量分布式开关电源的应用。通过设计阻波器对大容量分布式开关电源的零线谐波分量进行抑制, 并对设计的阻波器进行仿真运算。仿真结果表明, 阻波器能够较好地抑制分布式开关电源的零线谐波分量, 在发光二极管(LED)大屏幕供电系统的实际应用中证实了这一点。

1 开关电源结构原理以及阻波器设计

1.1 开关电源的结构和原理

开关电源的基本结构如图 1 所示。

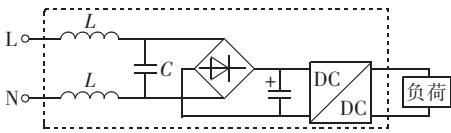


图 1 开关电源的基本结构

Fig.1 Basic structure of switching power supply

开关电源的主要工作原理是交流输入电压经过滤波电容、整流器后得到直流电压, 加在负荷上输出功率。总体上, 开关电源一般可以分为 AC/DC 和 DC/DC 2 种。AC/DC 是将交流通过整流器后变换直流, 而 DC/DC 和直流斩波相类似, 将固定的直流电压通过触发角的选取变换为可变的直流电压^[15]。

在单个开关电源应用中本身存在着谐波问题, 通过数字仿真可得结果如图 2 和表 1 所示, 其中图 2 为仿真得到的开关电源电流、电压波形, 表 1 为开关电源电流各次谐波量。从图 2 中可以看到, 电流呈尖脉冲状, 而这些相尖峰电流会对电气设备造成冲

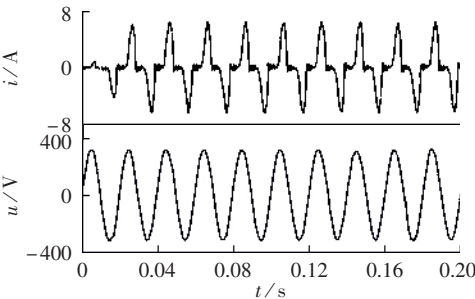


图 2 开关电源电流、电压波形

Fig.2 Current and voltage waveforms of switching power supply

表 1 开关电源电流各次谐波量

Tab.1 Harmonic currents of switching power supply

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	3.48	250	0.63	450	0.17
150	2.10	350	0.28	550	0.12

击,并引起继电保护的误动作。由表 1 可知,系统电流中谐波含量很大,其中以 3 次谐波为主,含量为基波的 70 %~80 %。在工作电流较大时,5 次谐波含量为 15 %~20 %,7 次及以上各奇次谐波及所有偶次谐波总量不大于 6 %。在系统电流较小时,5 次谐波电流可以达到基波电流的 30 %,但此时谐波电流的绝对值很小,不会对系统产生很大影响。

图 3 为零线上所流过电流,表 2 为零线电流各次谐波量。由于谐波电流在零线上的叠加性,对于零序电流保护的正确动作是一个严峻的考验。

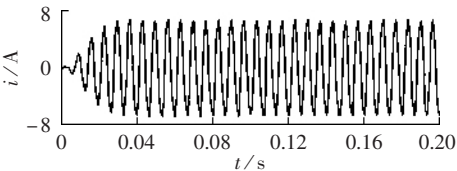


图 3 开关电源零线电流波形
Fig.3 Zero-line current waveform of switching power supply

表 2 零线电流各次谐波量

Tab.2 Harmonic currents of zero-line

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	0.03	250	0.07	450	0.50
150	6.23	350	0.04	550	0.02

由表 2 可知,零序电流以 3 次谐波电流为主,其他各次谐波的电流很小。因此,消除 3 次谐波成为解决谐波问题的关键所在。

1.2 阻波器设计

为解决前述开关电源的零线谐波,通过设计一个无源滤波器,即阻波器来抑制谐波电流的通过。

阻波器由电容和电感并联,外加保护电路构成,见图 4。选择适当的 L 和 C 的参数值可抑制谐波分量的通过。旁边并联一个保护电路,由小电阻 R 和双向晶闸管构成,当发生过电压时用来保护电路。

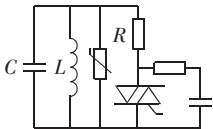


图 4 阻波器电路图
Fig.4 Circuit of line trap

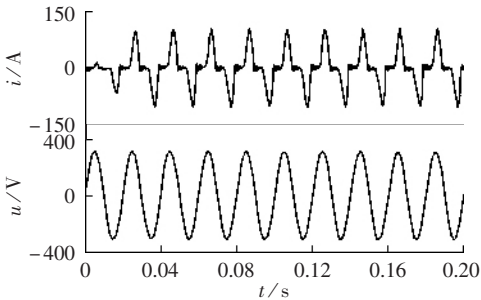
2 数值仿真与实测结果

在实际应用中,由于单个开关电源的功率较小,一般将多组开关电源并联使用,分布式并联使用容量的增大使得谐波问题更为突出。

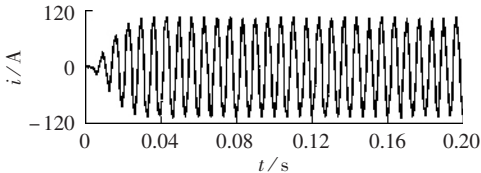
上述设计的阻波器已应用于某 LED 大屏幕供电系统。该供电系统有 1 000 只 500 W 的开关电源分布式并联运行,功率共计 500 kW,运行产生大量谐波分量,常导致零序保护动作和相过电流保护动作,致使系统无法正常运行。将设计的阻波器应用于

该大屏幕供电系统中,采用 20 台阻波器分布式排列。

仿真结果如图 5 和表 3、4 所示。图 5 为未投入阻波器时仿真得到的多组开关电源并联使用时 A 相系统电流、电压波形,表 3 为多组开关电源电流各次谐波量,表 4 为零线电流各次谐波量。



(a) 开关电源电流和电压的仿真波形



(b) 零线电流仿真波形

图 5 未加阻波器时电流和电压仿真波形

Fig.5 Simulation waveforms of current and voltage without line trap

从图 5(a)可以看出,电流波形呈尖脉冲状,对系统冲击的不良影响比较大。从图 5(b)可知系统稳定后零线电流的有效值为 107 A。

表 3 未加阻波器时开关电源电流各次谐波量

Tab.3 Harmonic currents of switching power supply without line trap

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	55.60	250	10.14	450	2.76
150	33.50	350	4.55	550	1.95

表 4 未加阻波器时零线电流各次谐波量

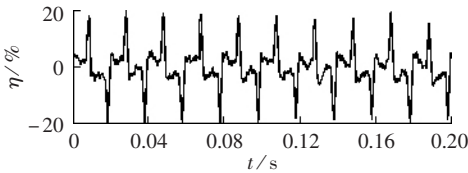
Tab.4 Harmonic currents of zero-line without line trap

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	0.46	250	1.09	450	7.90
150	99.80	350	0.68	550	0.25

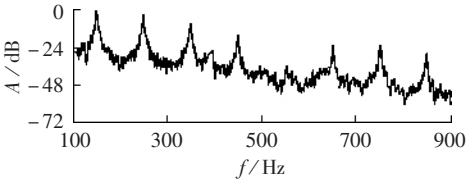
由表 4 可知,零线上流过的谐波分量较大,特别是 3 次谐波分量,理论上三相的谐波分量都流经零线,其 3 次谐波电流约为系统相电流 3 倍,而其他谐波分量所占比例相对较小。

图 6 为实测所得的未投入阻波器时多个开关电源并联使用 A 相系统电流及其快速傅里叶变换(FFT)分析。图 6(a)(c)中纵坐标 η 为测量系统标定电流的互感器满量程的百分比,后同。

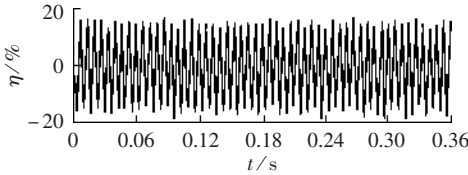
将阻波器投入使用后,通过仿真可以得到图 7、表 5 和表 6。图 7 为投入阻波器后仿真得到的多个开关电源并联使用时 A 相系统电流、电压波形,表 5 为投入阻波器后多组开关电源电流各次谐波量,表 6 为零线电流各次谐波量。



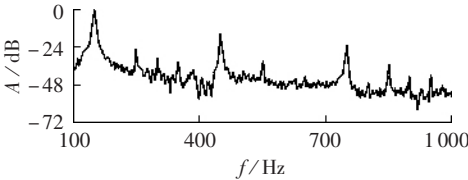
(a) 开关电源电流



(b) 开关电源电流 FFT 分析

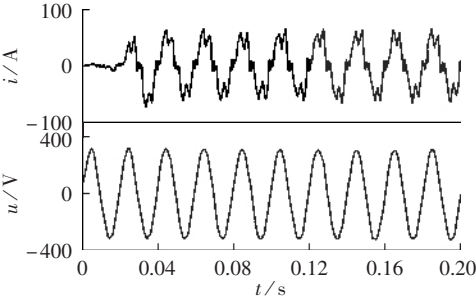


(c) 零线电流

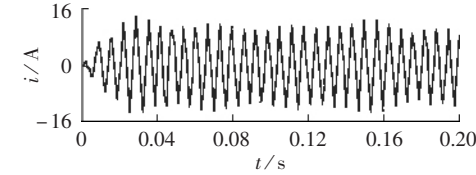


(d) 零线电流 FFT 分析

图 6 未加阻波器时电流波形及其 FFT 分析
Fig.6 Current waveforms without line trap and their FFT analysis



(a) 开关电源电流和电压的仿真波形



(b) 零线电流仿真波形

图 7 投入阻波器后电流和电压仿真波形
Fig.7 Simulation waveforms of current and voltage with line trap

比较图5(a)和图 7(a)可知,投入阻波器后系统电流波形由 1 个尖脉冲变成 2 个小的尖脉冲,减小对系统冲击。

比较表 3 和表 5 及表 4 和表 6 可知,投入阻波器后不仅系统电流的 3 次谐波分量大为减少,特别是零线上的 3 次谐波分量急剧减小,电流峰值由无阻波器时的 107 A 减小到投入阻波器后的 11 A,达

表 5 投入阻波器后开关电源电流各次谐波量

Tab.5 Harmonic currents of switching power supply with line trap

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	47.46	250	12.23	450	0.35
150	0.85	350	3.80	550	2.65

表 6 投入阻波器后零线电流各次谐波量

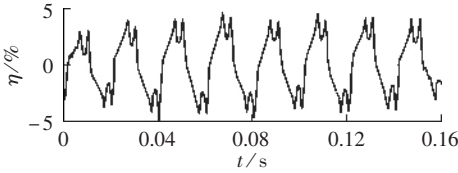
Tab.6 Harmonic currents of zero-line with line trap

f/Hz	I/A	f/Hz	I/A	f/Hz	I/A
50	0.06	250	0.08	450	0.83
150	2.74	350	0.06	550	0.02

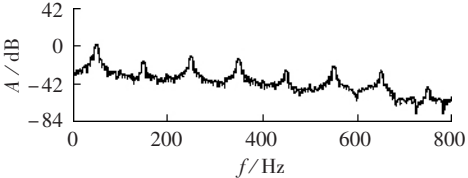
到预期效果,可很好地抑制谐波电流。

图 8 为实测所得到的投入阻波器后多个开关电源并联使用 A 相系统电流及其 FFT 分析。

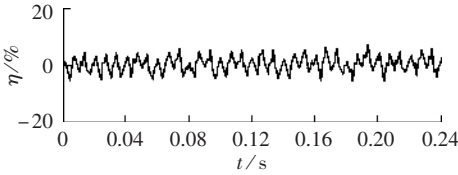
比较图 6 和图 8,投入阻波器后相电流峰值和相电流中 3 次谐波含量均减小,且零线电流大为减小。



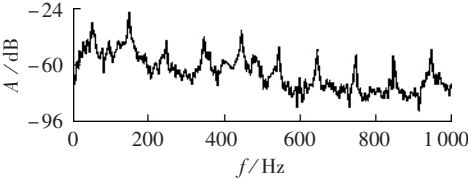
(a) 开关电源电流



(b) 开关电源电流 FFT 分析



(c) 零线电流



(d) 零线电流 FFT 分析

图 8 投入阻波器后电流波形及其 FFT 分析
Fig.8 Current waveforms with line trap and their FFT analysis

3 结论

通过数值仿真和实测结果,就本文所设计阻波器在大容量分布式开关电源中的应用得到如下结论:

- a. 阻波器可以抑制零线上的谐波分量,特别是 3 次谐波分量,防止系统零序保护动作;
- b. 加上阻波器后系统相电流的峰值有一定程度

上减小,从电流脉冲形状上看,也由无阻波器时1个峰值大且陡的尖脉冲变成了有阻波器后2个平缓的尖脉冲,可以防止过电流速断保护的误动作,有利于电网和系统的安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 王可亮,瞿世尊,陈健. 开关电源的设计[J]. 电子元器件运用, 2004,6(3):17-19.
WANG Ke-liang, QU Shi-zun, CHEN Jian. Design of switching power supply[J]. Electronic Component & Device Applications, 2004,6(3):17-19.
- [2] 阮棉晖,张依群. 开关电源在直流系统中的应用[J]. 云南电力技术, 2002,30(2):50-51.
RUAN Mian-hui, ZHANG Yi-qun. Application of switching power supply in DC system[J]. Yunnan Electric Power, 2002,30(2):50-51.
- [3] 瞿世尊,王可亮,陈健. 大功率开关电源的设计与实现[J]. 电子工程师, 2004,30(4):39-43.
QU Shi-zun, WANG Ke-liang, CHEN Jian. The design and implementation of high-power switching power supply[J]. Electronic Engineer, 2004,30(4):39-43.
- [4] 黄海宏,王海欣. 开关电源在电力系统的应用[J]. 电力建设, 2005,26(1):14-16.
HUANG Hai-hong, WANG Hai-xin. Application of switch power supply in power systems[J]. Electric Power Construction, 2005,26(1):14-16.
- [5] 叶慧贞,杨兴洲. 开关稳压电源[M]. 北京:国防工业出版社,1990.
- [6] 许俊荣. 高频开关电源技术及应用简述[J]. 安徽电力, 2003(4):27-29.
XU Jun-rong. Briefing on technology and application of high frequency switch power source[J]. Anhui Power, 2003(4):27-29.
- [7] 刘文华,蒙岩,汪小明,等. 通信开关电源系统的微机监控[J]. 电力系统自动化, 1997,21(6):64-67.
LIU Wen-hua, MENG Yan, WANG Xiao-ming, et al. Microcomputer-based monitoring and control of switch mode rectifier system for telecommunication applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997,21(6):64-67.
- [8] 李宁. 开关电源原理和发展方向[J]. 今日电子, 2002(6):38-39.
LI Ning. The principle and development of switching power supply[J]. Electronic Products China, 2002(6):38-39.
- [9] 高利兵. 开关电源的多路输出技术[J]. 电子工程师, 2003,29(11):33-36.

- GAO Li-bing. Research on multiple-output of switching power supply[J]. Electronic Engineer, 2003,29(11):33-36.
- [10] 王辉. 发电厂及变电站二次设备分布式直流电源系统探讨[J]. 电力自动化设备, 2004,24(7):89-91.
WANG Hui. Discussion of distributed DC supply system for power plant and substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004,24(7):89-91.
- [11] 陈道炼,汤雨,宋海峰,等. 单级不间断高功率因数直流开关电源研究[J]. 中国电机工程学报, 2005,25(9):134-138.
CHEN Dao-lian, TANG Yu, SONG Hai-feng, et al. Research on single-stage uninterruptible DC switching power supplies with high power factor[J]. Proceedings of the CSEE, 2005,25(9):134-138.
- [12] 史立生,尹成群. 开关电源功率因数校正分析[J]. 华北电力学院学报, 1995,22(3):18-23.
SHI Li-sheng, YIN Cheng-qun. Analysis of power factor correction about switching mode power supply[J]. Journal of North China Institute of Electric Power, 1995,22(3):18-23.
- [13] 李先祥. 开关电源功率因数校正系统设计技术[J]. 佛山科学技术学院学报:自然科学版, 2000,18(2):1-5.
LI Xian-xiang. Designing the power factor correction system for the switch power and the techniques involved[J]. Journal of Foshan University: Natural Science Edition, 2000,18(2):1-5.
- [14] 程丽,陈延明,李明. 开关电源的功率因数校正问题[J]. 广西大学梧州分校学报, 2004,2(14):62-64.
CHENG Li, CHEN Yan-ming, LI Ming. Switching mode power supply's power factor correction problem[J]. Journal of Guangxi University Wuzhou Branch, 2004,2(14):62-64.
- [15] 周志敏. 开关电源的分类及应用[J]. 电源技术应用, 2001,3(3):65-66.
ZHOU Zhi-min. Classification and application of SMPS[J]. Application of Power Technology, 2001,3(3):65-66.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

解 蕾(1983-),女,上海人,从事电力系统 FACTS 研究和电力系统仿真;

张延迟(1967-),男,北京人,副教授,从事并网型风力发电机和电力系统仿真;

解 大(1969-),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,从事电力系统 FACTS 研究和电力系统仿真(E-mail:xieda@sjtu.edu.cn)。

Harmonic suppression for large-capacity distributed switching power supply

XIE Lei¹, ZHANG Yan-chi², XIE Da¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Dianji University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The application status of the large-capacity distributed switching power supply and its existing harmonic problem are introduced. A line trap is designed to suppress its zero-line harmonics, which consists of a capacitor and an inductance in parallel, as well as a protective circuit of a small resistor and a bilateral thyristor is added. The designed line trap is simulated and applied to a switching power system for LED (Light Emitting Diode) screens. Current waveforms of the system without and with the line trap are compared. The current wave changes from a high and steep impulse into two mild impulses, and the peak current, the 3rd harmonic current and the zero-line current are all decreased, which improves the operating condition of devices and ensures the proper action of protective relays and the stable operation of the power supply system.

Key words: switching power supply; line trap; harmonics