

# 电源谐波的测试分析与抑制

周鹏,黄钢,陈立平

(塔里木农垦大学农业工程学院,新疆 阿拉尔 843300)

摘要:通过对输入电流畸变和开关电源电路中瞬间尖峰脉冲对日常设备产生危害进行仔细分析,找出电源谐波产生的原因,对照利用谐波测试仪测试谐波对不同电视产生影响的各种数据反映,提出解决谐波干扰的具体措施,它对于各种实际运行的电气化设备抗谐波干扰具有借鉴作用。

关键词:谐波; 有源滤波; 功率因数; 谐波抑制; 功率补偿

中图分类号: TM714 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2003)03-0044-03

## 1 引言

随着工业发展和居民用电设备的增多,谐波危害日益严重,主要表现为谐波使设备产生附加损耗,降低供配电及用电设备的效率,同时谐波引起过电压、过电流使变压器严重过热,使电容器、电缆过热,绝缘老化,寿命缩短,易发生火灾。谐波能引起公用电网局部并联谐振和串联谐振,使谐波放大,导致继电保护和自动装置的误动作。当输电线路与通讯线路平行或相距较近时,由于存在静电和电磁感应,形成电场耦合和磁场耦合,谐波分量将产生声频干扰,从而降低信号的传输质量,破坏信号的正常传输<sup>[1]</sup>。

## 2 谐波产生的原因

电源产生谐波的主要原因,一是开关电源中普遍采用电容滤波型桥式整流电路,造成输入电流波形畸变;二是电源电路中的开关器件(二极管、三极管)及感性负载工作于高频开关状态而产生尖峰脉冲。

### 2.1 输入电流畸变产生的谐波

图1是电源输入端采用的电容滤波型桥式整流电路,其工作过程是:在交流输入电压的正半周,D1、D3导通,交流电压通过D1、D3对滤波电容C充电,若D1、D3的正向电阻分别用r表示,交流电源内阻用R表示,则充电时间常数可近似表示为: $\tau = (2r + R)C$ ,由于二极管的正向电阻r和交流电源内阻R很小,故τ很小,滤波电容C很快被充电到交流输入电压的峰值,当交流电源输入电压小于滤波电容C的端电压时,D1、D3就处于截止状态,同理,可分析负半周D2、D4的工作情况。从实验结果可以看出,当电路达到稳态后,在交流输入电压的一个

周期内二极管导通时间很短,输入电流波形畸变为幅度很大的窄脉冲电流。测试表明,这种畸变的电流含有丰富的谐波成分,而高次谐波沿输入导线产生传导干扰和辐射干扰。

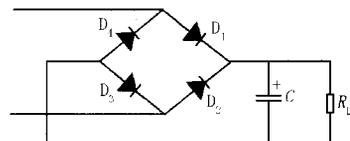


图1 电容滤波桥式整流电路

Fig. 1 Rectifier circuit of capacitor filter bridge type

### 2.2 开关管和开关变压器产生的谐波干扰

在开关电源电路中,由于开关管和开关变压器工作于高频开关状态,在开关管关断时,开关变压器中的储存能量将与分布电容产生衰减振荡,形成幅度很大的尖峰脉冲,其频带较宽且谐波丰富,将会对电网产生严重的谐波污染。

## 3 电源谐波的测试分析

一般电网电流  $i_s = i_{spf} + i_{sqf} + i_{sh}$

其中:  $i_{spf}$  为瞬时基波有功电流;  $i_{sqf}$  为瞬时基波无功电流;  $i_{sh}$  为瞬时总谐波电流。

而  $i_{sqf} + i_{sh} = i_s - i_{spf}$  可以算出,应设法消除,具体检测算法,按瞬时无功率理论,  $i_p$ 、 $i_q$  和三相电流  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  关系为:

$$\begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(t) & -\cos(t) \\ -\cos(t) & -\sin(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix}$$

再结合由低数字滤波得到  $i_{pf}$  和  $i_{qf}$  可以算出三相基

## 波电流

$$i_{af} = \sqrt{2/3} [i_{pf} \sin(\omega t) - i_{qf} \cos(\omega t)]$$

$$i_{bf} = \sqrt{2/3} [i_{pf} \sin(\omega t - 2\pi/3) - i_{qf} \cos(\omega t - 2\pi/3)]$$

$$i_{cf} = \sqrt{2/3} [i_{pf} \sin(\omega t + 2\pi/3) - i_{qf} \cos(\omega t + 2\pi/3)]$$

$$i_{ah} = i_a - i_{af}; i_{bh} = i_b - i_{bf}; i_{ch} = i_c - i_{cf}$$

实验采用 8793A 型谐波测试仪对 18 英寸和 15 英寸彩电的电源输入电压总谐波含量 (V-THD)、输入电流总谐波含量与基波的比 (I-THD)、功率因数 (PF) 及输入电流 1-12 次谐波进行了测量。

表 1 谐波及功率因数

Tab. 1 Harmonics and power factor

参数	V-THD %	I-THD %	PF
彩电	5.02	126	0.593
彩显	4.97	104	0.646

表 2 输入电流 1-12 次谐波

Tab. 2 1~12th harmonics in input current 单位: mA

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
彩电	100	4.55	86.6	3.9	71.3	1.42	49.8	1.5	27.2	3.55	10.3	3.77
彩显	100	2.45	78.6	1.55	56.7	1.23	24.5	0.9	12.9	0.7	13.7	1.03

由表 1、表 2 测试结果表明,开关电源的输入电压总谐波含量较小,一般小于基波的 6% (设基波为 100%),因而对电网的影响不大;但输入电流总谐波含量较高且功率因数较低,各次谐波尤其是 3、5、7 等奇次谐波含量较高。实践证明,较高的谐波会沿输电线路产生传导干扰和辐射干扰,对供电系统产生污染,影响其它用电设备安全经济运行。

4 抑制电源谐波的措施<sup>[2]</sup>

## 4.1 接入 EMI 滤波器

EMI 滤波技术是一种抑制尖脉冲干扰的有效措施,可以滤除多种原因产生的传导干扰,图 2 是一种由电容、电感组成的 EMI 滤波器,接在电源的输入端,C1、C5 是高频旁路电容,用于滤除两输入电源线间的差模干扰,L1 与 C2、C4,L2 与 C3、C4 组成共模干扰滤波环节,用于滤除电源线与地之间非对称的共模干扰;L3、L4 的初次级匝数相等、极性相反,交流电流在磁芯中产生的磁通相反,因而可有效地抑制共模干扰。测试表明,只要适当选择元器件的参数,便可较好地抑制开关电源产生的传导干扰。

## 4.2 采用无源功率因数校正技术

EMI 滤波电路虽能有效地抑制传导干扰,但无法解决输入电流波形畸变的问题,因此要降低电流

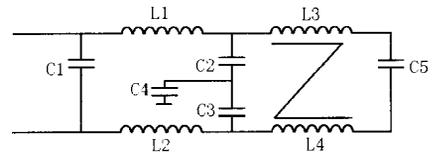


图 2 EMI 滤波器

Fig. 2 EMI filter

谐波含量,必须改善桥式整流电容滤波电路的输入特性。图 3 是一种由电容、二极管组成的无源功率因数校正 (PPFC) 电路。采用该电路整流二极管的导通时间明显增大,其输入电流波形得到较大改善。测试表明,采用 PPFC 电路可使输入电流总谐波含量与基波的比降低到 30% 以下,功率因数可提高到 0.95 以上,测试结果见表 3,与表 1、表 2 比较,输入电流总谐波含量及 3、5、7 等奇次谐波都得到很大改善,且功率因数提高到 0.9 以上。

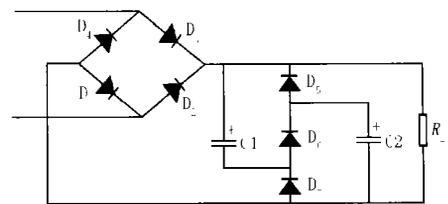


图 3 PPFC 电路

Fig. 3 PPFC circuit

表 3 采用 PPFC 电路后主要参数测量值

Tab. 3 Main parameter measured after using the PPFC circuit

参数	I-THD %	PF	3 次谐波	5 次谐波	7 次谐波
测量值	32	0.91	21	15	12.7

4.3 采用有源功率因数校正技术<sup>[3]</sup>

有源功率因数校正 (APFC) 采用了脉宽调制 (PWM) 技术,其各项性能指标均优于 PPFC 校正技术,输入电流为正弦波,功率因数接近于 1 (>0.995),输入电流总谐波含量小于 10%。图 4 给出了一种采用专用脉宽调制集成电路 UC1852 设计的 APFC 电路。电路接通 220V 交流电后,经桥式整流的直流电压通过 R1 对 C2 充电,当 C2 上的电压上升到集成电路 UC1852 脚的开启电压时,集成电路启动,由脚输出高频 PWM 脉冲,并驱动 MOS 管 Q1 工作的开关状态。在脉冲持续期间,Q1 导通,D6 截止,电感 L1 中的电流按一定的速率增大;在脉冲截止期间,Q1 截止,D6 导通,L1 中的电流通过 D6 对滤波电容 C8 充电,L1 中的电流按一定速率下降,当电流下降到零时,第二个脉冲的上升沿又到来,Q1 又导通,依次循环,L1 中的电流呈高频和三角波。

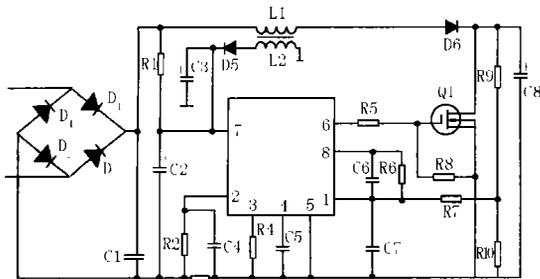


图4 APFC 电路

Fig. 4 APFC circuit

## 5 结论

测试结果表明,电源的总电流谐波含量较高,谐波电流以传导干扰和辐射干扰的形式污染电网,影响其它电器设备的正常运行,因此应采取有效的滤波措施加以控制,电流谐波含量过高是制约功率因数提高的关键因素,而造成电流谐波含量过高的主

要原因是由于在电源中采用电容滤波型桥式整流电路,致使输入电流波形产生严重畸变,因此改善桥式整流电容滤波电路的输入特性,是降低谐波含量的关键,也是提高线路功率因数的有效措施。

## 参考文献:

- [1] 宋士通. 电力网谐波的危害及对策[J]. 农村电气化, 2002(2):35.
- [2] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [3] 颜晓庆,王兆安. 并联混合型电力有源滤波器的数字模型与稳定性分析[J]. 电力电子技术,1998(4):44-47.

收稿日期: 2002-06-21

作者简介:

周 鹏(1970-),男,工程师和讲师,从事电气自动化、自动控制、数控编程、微机接口等方面的教学和科研工作。

## The testing - analysis and suppression of harmonic contensts for power supply

ZHOU Peng, HUANG Gang, CHEN Lirping

(Institute of Agricultural Engineering, Talimu University of Agricultural Reclamation, Alar Xinjing 843300, China)

**Abstract:** This paper carefully analyses input electrical current aberration and instant pinnacle pulse in the switch power source circuit, which harmed daily equipment. The reason of causing harmonic contents in power source is found. In contrast to lots data measured in the test that how the harmonics affect different TV, the paper puts forward the measures for reducing the harmonic contents. It is useful for reference and guidance to solve the problems about harmonic immunity of the Electrical Apparatus.

**Key words:** harmonic contents; active filter; Power factor; harmonic suppression; power compensation

## 专家会诊中国电力短缺

针对我国出现的大面积电力短缺的现象,2月26日,中国电力企业联合会、中国电力企业管理杂志社邀请部分电力专家汇聚一堂,分析当前电力供需形势,对症下药,各开良方。专家们认为,从总体上看区域性电力短缺与电力饱和并存,我国电力需求仍将保持高速增长。

国家开发银行的电力资深专家吴敬儒分析说:“造成我国当前大面积缺电的主要原因是,装机容量增长赶不上用电量的增长。”

国家经贸委电力司副司长贾英华、国家电力公司动力经济研究中心专家王信茂、冉莹等认为,从总体上看,当前电力供需大体平衡,区域性电力短缺与区域性电力饱和共存。他们认为,造成当前电力紧张的原因是多方面的,用电需要增长较快,电力总量不足是首要原因。具体而言,有的是输电电网不配套,出现有电送不出去的“卡脖子”现象;有的是电厂机组备用容量少,部分机组发生故障或进行检修,造成电力紧张;有的是水电来水偏少;有的是电网峰谷差过大,调峰能力不足;还有的是气候原因——去年夏季气候炎热,冬季南方地区阴冷,空调用电量大大增加等等。

国家电网公司电力调度中心副主任赵玉柱、战略部副主任欧阳昌裕认为,近年来高耗能工业企业发展较快,是造成电力供应紧张的一个重要原因,同时煤炭供应趋紧,煤电供求矛盾日益突出,也被认为是影响电力供应的原因之一。

在分析电力短缺的原因之后,专家们献计献策,对症开方。他们建议,首先,国家应该尽快建立科学的电力投融资体制,加大电源建设力度;但切忌出现一说缺电,就一哄而上盲目跑资金、抢项目的现象。其次,根据目前电力供应形势趋紧的变化,保证电力供应成为首要任务,建议国家关停3000万千瓦小火电机组的政策做适当调整,可将关停工作适当推迟、延缓。其三,针对区域性缺电的现状,专家建议应加强电力结构调整力度,保证电煤供应,增加电力有效供给。来自缺电严重的华东地区的经验表明,通过“错峰”供电,华东地区可1年多“错”出200万千瓦。其四,要理顺电价,通过价格杠杆来调节电力供需。