

电力电子设备与电能质量

舒泓 王毅

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)

摘要: 本文介绍了电力电子设备电能质量的相互关系, 从电力电子设备对电能质量的有害影响的分析入手, 本文分析了整流和逆变电路对于电能质量的危害, 并且给出了具体数据。然后提出改善电能质量的电力电子设备(不停电电源, 动态电压恢复器, 等)的原理、结构和方法, 最后介绍了用户电力技术的概念。

关键词: 电能质量; 电力电子; 动态电压恢复器; 超导储能系统; 用户电力

Power Electronics and Power Quality

Shu Hong Wang Yi

(Electric Engineering School Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: This paper puts emphasis on the relationship between power electronics devices and power quality. Discussing negative affect, the paper analyzes rectification circuit and inversion circuit, and quantitative results are given indicating negative influence on power quality brought by power electronics devices. Discussing positive affect, this paper introduces power quality conditioning devices such as uninterruptible power supply (UPS), dynamic voltage recovery (DVR), etc. The paper presents these devices' theories, disadvantages and application foreground. The influences of power electronics devices on power quality are summarized at last and the theory of custom power is described.

Key words: power quality; power electronics; DVR; SMES; custom power

0、前言

随着经济的发展与人民生活水平的提高, 大量性能对于电压质量非常敏感的基于计算机的控制设备和电子装置投入使用, 而这些设备一旦不能正常工作将会对生产生活造成不可估量的损失, 如惠普集成电路厂这样供电敏感的用户, 20 分钟的停电事故将会引起 3000 万美元的损失。电能质量的下降造成通信干扰, 设备及材料过热, 鉴于此, 电能质量问题逐渐引起了供电部门和电力用户等社会相关部门的共同重视, 电力用户对电能质量提出了更高的要求。

供电部门和电力用户对电能质量负有共同的责任, 为用户提供可靠合格的电能无疑是供电部门不可推卸的责任, 但电力用户对于电能质量的影响也是不可忽略的, 不仅不可忽略, 用电设备是影响电能质量的主要因素。

用电设备中很大一部分是电力电子装置, 电力电子装置的出现和广泛应用是以电力电子技术的发展为前提的。

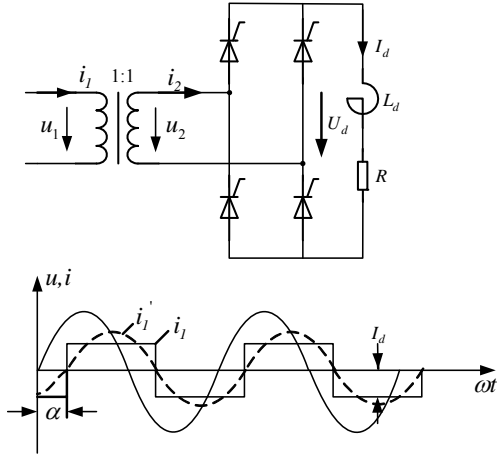
电力电子技术以计算机技术和功率半导体制造技术为基础和先导, 由于开关器件功率处理能力和切换速度近年来有了显著提高, 电力电子装置的工业市场和应用领域正在不断扩大, 电力电子装置在合理开发利用能源方面正发挥着日趋重要的作用。目前, 大概 10%-20%的电能是经过电力电子装置处理的, 这个数字到 2010 年左右将会达到 50%-60%^[7]。由于电力电子装置的广泛应用, 配电网的电能质量受到严重影响。日本的统计数据表明从 1983 年到 1994 年的 10 年间, 日本 6.6kV 配电系统中的谐波含量由 3%迅速上升到 5%。1、恶化电能质量

电力电子设备由于电力电子器件的非线性和快速开关特性, 属于非线

性时变负荷，根据电路相关理论，此种负荷极易产生谐波等污染电能质量。

1.1 整流装置

图一所示为单相桥式整流装置电路图及其原边电压电流波形图，此种电路广泛应用于整流器中。



图一、单相桥式整流电路图及其原边电压电流波形图

如图一所示，开关器件的控制角为 α ，变压器原边电流的有效值等于整流电流 I_d ，将原边电流分解成傅氏级数为

$$i_1 = \frac{4}{\pi} I_d \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right) \quad (1)$$

图一中 i_1' 为变压器原边（电源侧）电流基波波形，基波电流的有效值为

$$I_1' = \frac{\frac{4}{\pi} I_d}{\sqrt{2}} = 0.9 I_d \quad (2)$$

电源侧电流的畸变因数为

$$\zeta = \frac{I_1'}{I_1} = \frac{0.9 I_d}{I_d} = 0.9 \quad (3)$$

根据功率因数的定义，整流装置的功率因数是由畸变因数与位移因数

的乘积决定，畸变因数不会为 1，所以即使整流器的位移因数为 1（对应控制角 α 为 0），整流器的功率因数仍然不会为 1，因此电网中如果采用大量的整流装置进行电能变换势必引起电网功率因数下降，而功率因数下降又会引起电网无功加大，从而造成供电电压的下降，影响用户侧电能质量。

此外，电流畸变因数越高表明电源侧电流中高次谐波的含量越高，而高次谐波将会损坏变压器造成变压器铁损过大。

1.2 逆变装置

逆变装置广泛应用于电解、加热和电力传动中。三相桥式逆变装置的电路原理如图二所示。

如图二所示，将相电压用傅氏级数展开（以 A 相为例）为

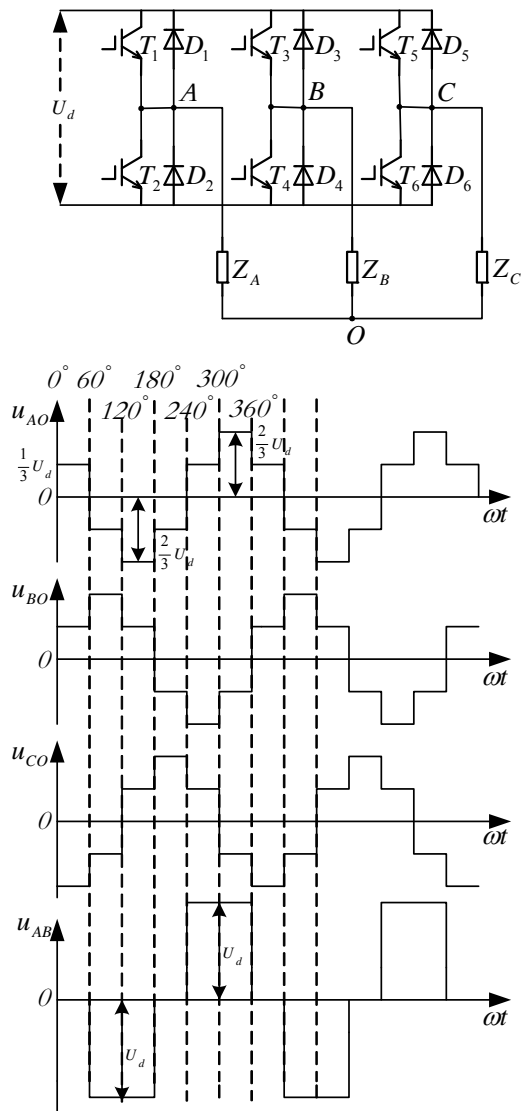
$$u_{AO} = \frac{2}{\pi} U_d \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right) \quad (4)$$

线电压的傅氏展开式为

$$u_{AB} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_d \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right) \quad (5)$$

由展开式可知，相电压和线电压的谐波含量相同，谐波中含量最高的为五次谐波，含量为基波的 20%，其次为七次谐波，含量为基波的 14.3%，谐波使电网的电流电压发生畸变，严重影响了电能质量，从而引起电动机等负载附加损耗加大，造成发热，减少寿命。

虽然目前采用变压器级联的方式可使逆变周期内阶梯数目增多，具有降低谐波含量的作用，但谐波污染仍然是逆变器不可忽视的问题。



图二、三相桥式逆变电路及其相/线电压波形图

对电能质量产生消极影响的具体电力电子设备及受影响的对象以及影响方面可总结如表一所示。

造成消极影响的设备	受影响设备	影响方面
整流器, 可调速电机, 日光灯镇流器, 开关电源等	变压器, 电动机, 电缆, 断路器, 电容等	造成电网谐波含量上升
换流器	电气控制设备	造成电网电压缺口
开关电源	变压器容量, 中性线温度	影响电网中性线电流

表一、电力电子设备对电网质量的消极影响汇总

2、改善电能质量

2.1 不间断电源(UPS)

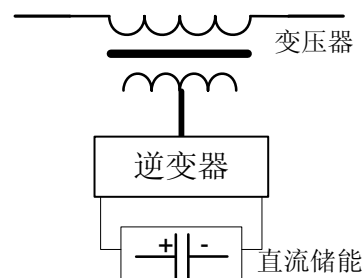
不间断电源的英文简称为 UPS (Uninterruptible Power Supply), 广泛应用于公司, 厂矿, 家庭, 属于电能质量调节设备, 原理比较简单, 当系统供电正常时, UPS 将交流整流成为直流并向电池充电, 从而交流电能储存为直流电能, 供电中断时, UPS 将储存在电池中的直流电能逆变成为交流电能从而保证使用交流电能的设备的正常工作, UPS 的种类很多, 有后备式, 在线互动式, 在线式等。

UPS 的缺点在于双边能量转化的损失, 同时产生大量谐波污染电网并且需要频繁的维护。

2.2 动态电压恢复器(DVR)^[3]

DVR(Dynamic Voltage Restorer) 是目前保证敏感负荷供电质量非常有效的串联补偿装置, 因为它通过自身的储能单元, 能在ms级内将电压跌落补偿至正常值, 因此是抑制动态电压干扰的有效补偿装置, 它主要由储能单元、DC/AC逆变器模块、连接变压器等部分组成, 储能容量可根据用户电压跌落统计数据确定, 逆变器的模块一般采用由IGBT构成三相全桥结构, 采用PWM调制方式, 这种结构控制灵活, 便于分相补偿。

DVR在消除电压跌落, 提高大型综合性敏感工业负荷的供电质量方面有显著的效果。



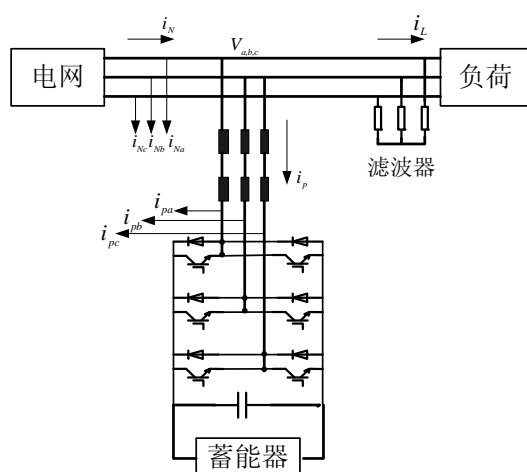
图三、动态电压恢复器

2.3 统一电能质量控制器(UPQC)^[4]

UPQC(Unified Power Quality

Conditioner)可快速补偿供电电压中的突升或突降、波动和闪变、谐波电流和电压、各相电压的不平衡以及故障时的短时电压中断等，是一项具有综合功能的电能质量控制器。

西门子公司已系列生产出 PQC 装置，是基于 IGBT 的 PWM 换流器，是并联性与串联型有源滤波器的综合，并联时，消除不正常负荷对电网的影响，串联时，消除电网对敏感性负荷的影响，串并联时，具有双向补偿的功能。



图四、西门子生产的 PQC 装置

该装置的缺点是仍然需要两套变流装置，因此伴随着双边能量的转化损失，并且要求双边协调控制，控制实现上相对复杂。

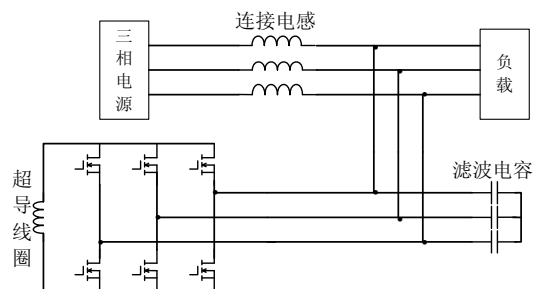
2.4 超导储能系统 (SMES) [5]

SMES (Superconducting Magnetic Energy System) 装置是利用超导线制成的线圈将交流电网产生的磁场能量储存起来，需要时将储存的磁场能量送回交流电网或作为它用，一般由超导线圈、失超保护、冷却系统、变流器和控制器等组成。

SMES 具有高效 (效率可达 90% 以上)，快速响应等特点，可调节负荷峰值；储存应急的备用电力；提高系统的稳定性；保证重要用户不间断供电。

SMES 最大的优越性在于，能快速与系统进行四象限有功与无功功率交

换。这一能力突破了传统电力系统的限制，可适应电网电压不断提高的要求。



图五、超导储能系统主电路结构

SMES 目前应用的主要局限是为提高 SMES 转换效率，需开发低损耗电流引线、超导永久开关及低热漏的低温杜瓦容器等。并且，因功率器件的容量限制，几十 kV、几百 kA 甚至更高容量的功率调节系统成为限制 SMES 向大规模发展的又一瓶颈。

3、用户电力技术 [5], [6]

随着电力电子技术和微处理器技术的发展，近些年来专业领域研究人员逐渐提出了用户电力技术的概念。

用户电力技术是将电力电子技术、微处理机技术、自动控制技术等高新技术运用于中、低压配电系统和用电系统中，以减小谐波畸变。消除电压波动和闪变、各相电压的不对称和供电的短时中断，从而提高供电可靠性和电能质量的新型综合技术。

用户电力技术控制器包括动态电压恢复器、固态断路器、统一电能质量调节器等。

用户电力技术的宗旨是保证电力用户获得持续可靠的电力供应，把因电能质量因素所造成的损失降到最低。

4、结论

电能质量问题是随着近年来敏感负荷使用的增多出现的，并逐步引起了相关专业研究人员的重视。

提高电能质量对于保证生产生活的正常进行并减少损失有着重要意义。如何提高电能质量，其中很重要

的一方面就是如何发挥电力电子设备改善电能质量的作用并且消除或抑制电力电子设备对于电能质量的消极影响。

本文从分析二者关系入手,分析危害并提出了相应的改善设备和措施,最后提出用户电力技术的概念。

舒泓 女 1979 北京交通大学电气工程学院在读博士 研究方向为电能质量在线检测

参考文献:

- [1] 邵丙衡. 电力电子技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
SHA0 Bing-heng. Power Electronics [M].
Beijing: China Railway Publishing House, 1997
- [2] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
XIAO Xiang-ning. Analysis and Control of Power Quality [M]
Beijing: China Electric Power Publishing House, 2004
- [3] 彭春萍, 陈允平, 孙建军. 动态电压恢复器及检测方法的探讨[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(1): 68-71.
PENG Chun-ping, CHEN Yun-ping, SUN Jian-jun. Study of Dynamic Voltage Restorer and Its Detecting Method [J]. **Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(1):68-71**
- [4] 李国勇, 刘汉奎, 徐殿国, 王炎. 统一电能质量调节器的研究[J]. 电力电子技术, 2003, 37(1): 74-78.
LI Guo-yong, LIU Han-kui, XU Dian-guo, WANG Yan. Study on Unified Power Quality Conditioner[J].
Power Electronics, 2003, 37(1): 74-78
- [5] 严干贵, 姜齐荣, 黄民聪. 未来的用户电力技术[J]. 电力系统自动化,

2002, 26(1):62-69.

YAN Gan-gui, JIANG Qi-rong, HUANG Min-cong. Custom Power Technologies in the Future[J]. **Power System Automation, 2002, 26(1):62-69**

[6] OLIMPO Anaya-Lara and E. Acha. Modeling and Analysis of Custom Power Systems by PSCAD/EMDTG[A]. **IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(1): 266-272.**

[7] M. M. Morcos and J. C. Gomez. Electric Power Quality - the Strong Connections with Power Electronics[A]. **IEEE Power and energy magazine, 2003, 9/10:18-25.**

作者简介:

舒泓 (1979-), 女, 北京交通大学电气工程学院博士研究生, 研究方向为电能质量在线检测

联系方式:

手机: 13520554052
e-mail:doctormouse@163.com
邮箱: 北京交通大学 558#