

新型电能质量干扰源的研究

钟云^{1,2}, 张建成¹, 刘爱国²

(1. 华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003; 2. 南昌大学信息工程学院, 江西 南昌 330029)

摘要: 介绍了两种传统类型的电能质量干扰源。就其不足之处, 提出了一种新型的电能质量干扰源设计方案。该干扰源采用了 DSP技术和双环控制方法, 实现逆变器干扰量的快速准确输出控制, 可以实现大容量输出。对该方案进行了仿真和实验研究, 结果表明, 此干扰源可以产生多种对称或不对称的波形畸变、电压跌落等电能质量干扰, 并且结构简单易实现, 从而验证了该干扰源的有效性。

关键词: 电能质量; 干扰; 逆变器

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)18-0045-04

0 引言

电网中各种冲击性、非线性负荷的不断增长, 使得供电系统电能质量受到严重污染。不良的电能质量问题可能引起工业生产过程非计划地停产或设备故障, 导致用户的生产成本增加, 造成巨大的经济损失。同时, 高新技术产业的飞速发展以及传统行业采用计算机管理和先进控制技术的应用, 电力用户中对电能质量敏感的负荷所占比重越来越大, 人们对供电质量和供电可靠性提出了更新、更高的要求, 甚至几分之一秒的不正常就可造成巨大的损失。据统计, 自动化程度很高的工业用户一般每年要遭受 10~50 次与电能质量问题有关的干扰, 其中因电压波动和闪变等动态电压质量问题造成的事故数约占事故总数的 83%^[1]。

为提高电力系统运行总效率, 供电部门鼓励用户使用更快、更高效的生产设备, 但是这些设备往往容易遭受各种电源干扰的影响, 甚至, 有时这些设备本身就是产生电能质量问题的干扰源, 使得供电电压干扰水平加重。

电网中任何一个局部的故障或事件都有可能造成大面积的影响, 甚至是重大损失。这迫使供电部门在保证向用户提供优质电力的同时, 还需极力避免来自用电设备产生的电力干扰, 维护电网安全运行。电能质量已经成为一个系统工程问题。可以看出, 提高电能质量, 满足生产发展的需求, 已经成为供用电双方共同的愿望, 也是目前重要的研究课题。

为改善电能质量, 减小不合格电能所带来的损

失, 通常的做法是在用户和电网间安装一些用户电力设备 (Custom Power Devices, 简称 CPD), 如: 有源电力滤波器 (APF)、动态电压恢复器 (DVR)、动态不间断电源 (DUPS) 以及统一电能质量控制器 (UPQC) 等。减小不合格电能影响的另一种有效措施是检验负载设备在受到电能质量干扰时的工作情况, 以便改进负载装置的设计方案, 提高其抗扰能力, 而无需安装电能质量控制设备, 从而节省了投资。

一些控制设备在使用前需要经过严格的检验, 然而, 在实际条件下检验这些设备的性能, 或者测试电气设备在受到干扰时的工作情况等并不容易, 因为要产生大功率的电能质量干扰代价太高, 尤其像电压凹陷和凸升这样的扰动, 虽然持续时间比较短, 也可能造成较大损失。因此, 需要一些专门的干扰发生装置来产生所需要的电能质量干扰。

为此, 本文对目前传统的电能质量干扰源进行了介绍, 针对不足之处提出了一种新型的电能质量干扰源方案。该干扰源采用了 DSP技术和双环控制方法, 并对其进行了仿真和试验。仿真和试验结果表明, 此干扰源不仅可产生多种对称或不对称的电能质量干扰现象, 例如三相不平衡, 电压波动与闪变, 电压跌落, 波形畸变等, 并且结构简单易实现, 尤其适合大功率的场合。

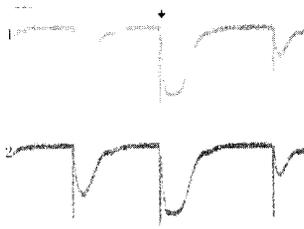
1 传统的干扰源

1.1 整流型干扰源

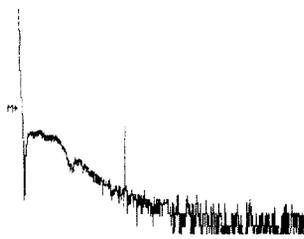
晶闸管相控整流电路因为能对大量实际装置产生谐波机理进行有效模拟, 故常用作实验室谐波源。采用 SGETR-250 整流块搭建的谐波源实验波形如图 1 所示。

由实验波形可知, 晶闸管相控以及二极管整流

基金项目: 国家电力公司纵向科技项目 (SP11-2002-01-09), 华北电力大学 2004 年度重大项目预研基金 (20041303)



注: 波形1: 负载电压, 纵坐标 5V/div 横坐标 1ms/div
波形2: 负载电流, 纵坐标 5A/div 横坐标 1ms/div
(a) 电压电流波形



(b) FFT 波形

图 1 整流型干扰源实验波形

Fig 1 Testing waveform of rectifier disturbances generator

电路虽可以产生丰富的谐波,但它们含有多次谐波,特别是不能单独产生某次谐波或产生任意指定波形的谐波。

1.2 放大器型干扰源^[2]

其中比较常见的干扰源是基于电压源放大器或电流源放大器形式的,但这种放大器形式的干扰源不仅要受到放大器带宽限制,而且容量一般不会做的很大。因为要经过功率放大器环节,该干扰源发热严重,损耗大,效率低,体积大,重量大。

2 新型的干扰源

2.1 逆变型干扰源

针对上述干扰源的不足,本文提出了一种基于脉宽调制原理的干扰源,由逆变电路产生干扰波形。其工作原理为:干扰波形在控制电路内部产生,并经过脉宽调制,产生开关脉冲信号,经驱动电路去触发逆变器 IGBT 门极,逆变器输出信号再经滤波器将高频分量滤去,得到需要的电压或电流干扰波形,最后加在待检测负载上。电能质量干扰源的原理框图如图 2 所示。

1) 干扰波形的产生

产生所需波形有两种方法,一种是查表法,另一种是在线计算的方法。查表法事先将数据表存放在程序存储器内,运行时查表取出所需数据,如果要想进一步提高精度,可以利用插值的方法求出中间点的

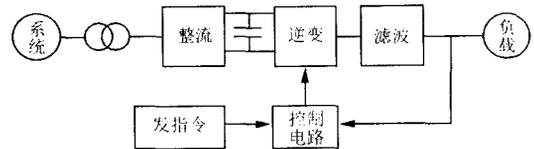


图 2 电能质量干扰源原理图

Fig 2 Principle diagram of the power quality disturbances generator

值。制定数据表格可以利用标准函数,也可以利用现场采集的数据;后者是针对特定地区的电能质量干扰。如果需要产生的波形数量较多,就需要对每一个波形列单独的表格,尤其是对于一些变化很不规则的干扰波形,需要存储的波形信息较多,就可能要受到存储器容量的限制,并且在允许时间内信号值的计算精度也会受到影响。可以采用在存储器中只存储一些基本波形的表格,然后利用一些算法将基本波形进行合成以得到复杂波形,从而可以提高计算速度和波形的精度。采用扩展存储器存储容量的方法在一定程度上可以解决大量数据存储的问题^[3]。

2) 控制电路

为了实时控制输出电压的波形,在这里采用基于输出电压瞬时值反馈的闭环 PD 控制方法,因为 PD 控制能反映误差的过去、现在、将来的大小。将反馈的输出瞬时电压与输出的参考电压进行比较产生误差信号,误差信号经过 PI 调节,产生电流环的参考信号,滤波电感的电流与之比较产生误差信号,经 PI 调节,再与三角载波比较产生决定器件通断的信号,调节电感电流使输出电压跟随参考电压变化。控制系统的原理图如图 3 所示。输出电压和电感电流由 A/D 采样送入 DSP 中,经过数字 PI 运算产生决定 IGBT 通断的信号,经驱动电路控制 IGBT 的通断。

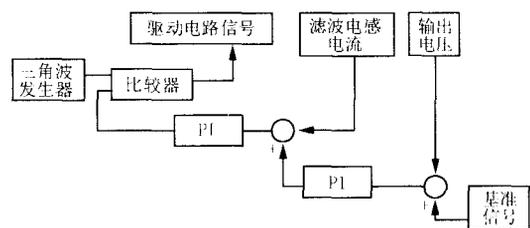


图 3 控制系统原理图

Fig 3 Block diagram of the control system

2.2 改进的干扰源

为了降低干扰源的容量,本文借鉴有源滤波器的注入方法,利用电感和电容构成注入回路^[4]。干扰源的容量取决于其承受的电压和流过的电流,利用电感和电容电路的谐振特性,使得干扰源只承受

很小部分的基波电压,从而极大的减小干扰源的容量。加入 LC串联谐振注入回路的电路结构如图 4 所示。其中 C2-L 在电源电压的基波频率处发生串联谐振,基波电压绝大部分降落在电容 C1 上。这样,干扰源只需承受其余的很小部分基波电压,电容 C1 还可以起到无功补偿的作用。

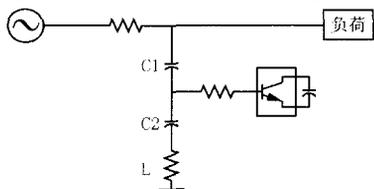


图 4 加入注入电路的电路结构图

Fig 4 Structure diagram after adding injection circuit

3 仿真与试验

3.1 仿真

对图 2 所示的控制系统运用 MATLAB6.5 中的 SIMULINK 仿真工具,进行控制方案的可行性分析。为了进一步提高动态性能,加入了微分控制,即外环再加 PD 控制。含有谐波的电压波形如图 5 所示,其中除了基波分量以外,加入了 25% 的三次及 16.7% 的五次电压谐波。仿真结果表明,该方案可以产生任意指定波形的谐波。

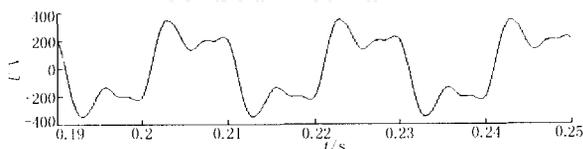


图 5 含有谐波的畸变电压仿真波形

Fig 5 Abnormal voltage simulated waveform including harmonics

图 6 所示为先发生电压凹陷后又发生凸起的电压干扰波形,在 0.03 s 时发生 50% 电压凹陷,持续 4 个周波,0.11 s 结束;在 0.15 ~ 0.21 s 发生凸起,电压幅值上升 25%,持续 3 个周波。

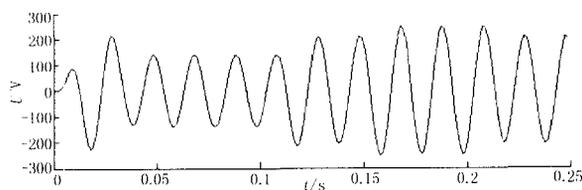


图 6 发生电压凹陷和凸起的仿真波形

Fig 6 Simulated waveform generating voltage sags and swells

3.2 实验

根据有关技术要求,设计了一台 10 kVA 的干扰源实验装置,所用参数是:IGBT 采用富士的 2MB B00P-140,整流部分采用的是三相整流移相调压装置,控制部分采用 TMS320LF2407A DSP 芯片,负载为阻性负载,20 的电阻丝两根串连。

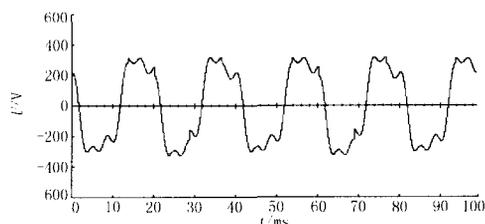


图 7 含有谐波的畸变电压实验波形

Fig 7 Abnormal voltage testing waveform including harmonics

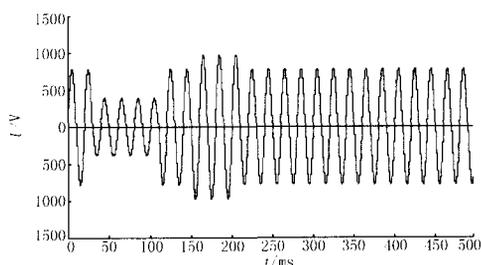


图 8 发生电压凹陷和凸升的实验波形

Fig 8 Testing waveform generating when voltage sags and swells

4 结论

本文分析了传统的电能质量干扰源的基本特性,提出了检验设备性能的新型逆变器干扰源设计方案,并对其控制方法进行了研究。它可以产生三相不平衡,波形畸变,电压跌落等电能质量干扰,也可以单独产生某次谐波或产生任意指定波形的谐波;采用 SIMULINK 对设计方案进行了仿真,仿真和实验结果都表明了设计方案正确可靠,可以产生所需的干扰信号。本文提出了利用电感和电容构成注入回路的改进的干扰源拓扑结构,仿真也证实了方案的可行性。此外利用本干扰源还可以方便地检验各种电力滤波器的滤波性能。今后将进一步完善控制电路以及控制软件,以便能产生更多高频、不规则的干扰波形。

参考文献:

- [1] 郭上华,黄纯,等.电压波动和闪变的检测与控制方法[J].继电器,2004,32(3):45-48

- GUO Shang-hua, HUANG Chun, et al. Detection and Suppression Methods for Voltage Fluctuation and Flicker [J]. Relay, 2004, 32 (3): 45-48
- [2] Jewell W. Power Quality Laboratory Testing [J]. IEEE Power Engineering Review, 2002: 13-15.
- [3] 张香真, 张建成. 一种电能质量干扰发生器的研究及仿真 [J]. 供用电, 2004, 21 (1): 27-29.
ZHANG Xiang-zhen, ZHANG Jian-cheng Research and Simulation on Power Quality Disturbances Generator Testing Facility [J]. Distribution & Utilization, 2004, 21 (1): 27-29.
- [4] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
WANG Zhao-an, YANG Jun, LIU Jin-jun Harmonic Sup-

pression and Reactive Power Compensation [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.

收稿日期: 2005-01-26; 修回日期: 2005-05-29
作者简介:

钟云 (1976 -), 女, 硕士研究生, 从事电力电子技术
在电力系统中的应用, 电能质量控制技术的研究; E-mail:
powerquality@163.com

张建成 (1965 -), 男, 副教授, 博士后, 从事电力系统分
析与控制, 新型电能储存技术和电能质量控制技术的研究;

刘爱国 (1965 -), 男, 副教授, 从事电力系统分析与控
制和电能质量控制技术的研究。

Research on the new-style power quality disturbance source

ZHONG Yun^{1,2}, ZHANG Jian-cheng¹, LIU Ai-guo²

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2 Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: This paper introduces two types of the traditional disturbance source. Compared with their deficiencies, a new-style power quality disturbance source that adopts the DSP technology and double loop control strategy is presented. MATLAB simulation and test results show that the new-style power quality disturbance source can generate many types of power quality disturbance, such as symmetry or asymmetry abnormal waveform and voltage sags, etc. And the simple structure is easily realized, which verify its validity.

Key words: power quality; disturbance; inverter

(上接第 29 页 continued from page 29)

- [6] 牛辉, 郭志忠. 电流注入模型的电力系统潮流计算 [J]. 电网技术, 1998, 22 (11): 39-41.
NIU Hui, GUO Zhi-zhong Power Flow Algorithm Based on Current-influx Model [J]. Power System Technology, 1998, 22 (11): 39-41.

收稿日期: 2004-12-07

作者简介:

王宗义 (1971 -), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统
分析与控制; E-mail: zongyiw@bjxj-xjgc.com

郭志忠 (1961 -), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 当前主要
研究方向为电力系统分析与控制、光学电流互感器等。

Newton load flow algorithm based on current balance equations

WANG Zong-yi¹, GUO Zhi-zhong^{1,2}

(1. Dept of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. XJ Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: A novel Newton load flow algorithm based on current balance equations is presented. Comparative study shows this method is the same as traditional Newton load flow based on power balance equations in convergence. In the simplicity of forming Jacob matrix and processing the transition of PV to PQ, this method has its advantages.

Key words: power system; load flow algorithm; current balance equation