

# 基于虚拟仪器技术的弧焊电源 谐波分析仪

王东平<sup>1</sup>, 田新诚<sup>2</sup>, 方磊<sup>2</sup>, 张光先<sup>2</sup>

(1. 潍坊劳动服务公司, 山东 潍坊 261041; 2. 山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

**摘要:**基于弧焊电源谐波分析的需要, 研制开发了一台弧焊电源谐波分析仪。该仪器以虚拟仪器技术为主要设计思路, 以工控机为主体, 整合了电子技术、计算机技术、传感和检测技术等现代信息技术。系统不仅可以精确快速的分析弧焊电源的谐波特性, 计算出各次谐波的谐波分量和畸变系数, 并以图形的方式显示出电压与电流的波形, 同时还具有强大的数据管理功能, 可以进行历史数据对比分析。在此平台上对不同类型的弧焊电源做了实验测试和分析, 加深了对逆变焊机的谐波特性的认识, 并提出了谐波治理的建议。

**关键词:**谐波; 虚拟仪器; 弧焊电源

**中图分类号:** TG434.1, TN03

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2303(2009)12-0054-05

## A harmonic analyzer for arc welding power supply based on virtual instrument technology

WANG Dong-ping<sup>1</sup>, TIAN Xin-cheng<sup>2</sup>, FANG lei<sup>2</sup>, ZHANG Guang-xian<sup>2</sup>

(1. Weifang Labor Service Corporation, Weifang 261041, China; 2. School of control science and engineering, Shandong university, Jinan 250061, China)

**Abstract:** In order for analysis of the harmonic of arc welding power supply, a virtual harmonic analyzer has been developed. The analyzer is based on the virtual instrument technology and IPC, and integrates many new technologies including the technology of digital, computer, inspection, and test. The system not only can analyze the harmonic of welding power supply, calculated for each harmonic distortion factor and harmonic components, and a graphical display of the voltage and current waveforms, but also has the powerful data management function. Some measurements and analyses of the different type arc welding power supply have been done using this instrument. It deeply understand the harmonic characteristics of inverter welder, and made harmonic governance proposals.

**Key words:** harmonic; virtual instrument; arc welding power supply

## 0 前言

电力电子控制的焊机逐渐替代电磁控制的焊机是焊接设备发展的一个趋势。逆变焊机和晶闸管整流焊机已成为电焊机舞台的主角。但是电力电子设备带来高效率的同时, 也带来了一个不容忽视的问题——谐波污染。逆变电源是一个强电和弱电组合的系统。在焊接过程中, 焊接电流可达到几百甚至上千安, 电流会产生较大的电磁场, 特别在逆变主

电路采用高逆变频率的焊接电源系统中, 整流管整流、高频变压器漏磁、控制系统振荡、高频引弧、功率管开关等均会产生较强的谐波干扰。

电网谐波对继电保护、计算机、测量或计量仪器以及通信系统等都有不利的影 响, 大大增加了电网中发生谐振的可能, 增加了电网损耗, 降低了电气设备的效率和利用率, 使电气设备运行不正常, 加速绝缘老化, 缩短设备的使用寿命。

国际电工委员会(IEC)、国际电气与电子工程师协会对于谐波污染问题给予了充分的重视, 成立了专门的工作小组, 制订了电力系统与电工产品的谐

收稿日期: 2009-03-15; 修回日期: 2009-07-12

作者简介: 王东平(1966—), 男, 山东潍坊人, 工程师, 主要从事电气技术方面的研究工作。



波限制标准,我国也制定了相关标准。可见谐波是电力电子设备必须解决的问题。

虚拟仪器是随着计算机技术、现代测试技术、电子仪器技术的发展而产生的一种新型仪器,虚拟仪器中,数据的采集与控制由硬件完成,数据的分析与处理结果的输出与显示都由软件编程完成。因此有“软件就是仪器”之说。

出于对焊机谐波分析和治理的需要,研制了一种基于虚拟仪器技术的焊机电源谐波测量和分析系统,测试系统结构如图 1 所示,以此为基础进行实验分析,提出谐波的治理建议。

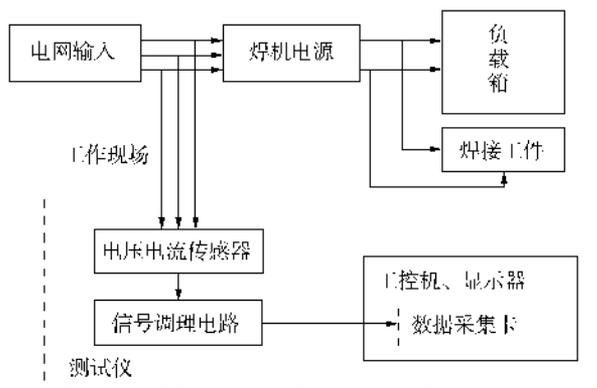


图 1 测试系统结构

Fig.1 Diagram of test system

## 1 硬件组成

### 1.1 数据采集卡

为了满足谐波测试的需要,选用了美国 NI 公司 M 系列高速多功能采集卡 PCI 6250,它具备 16 个采样通道,单通道最高采样速率为 1.25 MS/s,采样精度为 16 位,具有 24 个数字量输入输出,同时采集网侧三相电压和三相电流共 6 路信号,可以同时达到 150 kS/s 以上。可以测得网侧三相电压电流谐波频率信号的最大频率为 75 kHz,最高次数为 1 500 次,完全可以满足要求。

### 1.2 电压电流传感器

霍尔电流、电压传感器具有优越的电性能,是一种先进的、能隔离主电路回路和电子控制电路的电检测元件。由于分流器无法实现电流隔离的测量,而互感器适合于工频 50 Hz 的测量,霍尔传感器具有体积小、精度高、动特性好、工作频带宽、过载能力强等优点,本系统的测试对象为焊机的三相输入电压、电流共 6 路信号,使用了 LEM 公司的霍尔传感器 LV28-P 和 LT108-S 来采集电压、电流信号,可实

现输入电压 0~750 V AC,输入电流 0~150 A AC 的测量范围。

### 1.3 信号调理电路

由于数据采集卡的模拟输入信号必须为电压信号,而电压电流传感器输出信号均为电流信号,在送入数据采集卡之前要进行信号调理转换为电压信号,另外为了防止工业现场的强干扰信号窜入信号电路,损坏数据采集卡,应使用限幅电路以防止信号过载。

## 2 系统功能

由于 C++ 语言应用面广,代码可重用性好,功能强大,执行效率高,尤其在界面设计和数据库操作等方面具有很高的灵活性和自由度,所以本测试系统软件采用 Visual C++ .NET 2003 开发而成,它是新一代程序设计语言 C++ 的集成编译环境,可方便地设计 Windows 应用软件。数据库部分采用了 Access 2003,并利用 ADO 技术实现对数据库的操作管理。Access 数据库软件是一个关系型数据库管理系统,便于操作维护,比较适合小型化的桌面数据库。

### 2.1 谐波分析

在分析和测定所采集的数据记录时,快速傅立叶变换(FFT)是非常有用的频谱分析手段。采取 FFT 算法进行频谱分析,要求采样点数满足  $N=2^n$ ,采样频率满足采样定理,即  $f_s > 2f_m$  ( $f_m$  为信号的最大频率分量)。为了避免栅栏效应,截取长度必须是信号频率的整数倍。在进行频谱分析时应注意:①采用整周期或准周期采样,以减少泄露误差和栅栏效应的影响;②采用数据加窗处理,以减少泄露误差;③必要时可以利用插值算法来减小栅栏效应的影响。

本谐波分析模块可以实时显示电压、电流波形,可以对波形进行操作,进行放大缩小,运用多线程技术,在辅助线程中进行傅立叶变换,可以选择是否加载汉宁窗或海明窗等窗函数。并显示出电压、电流的有效值、频谱分布、波形畸变率、谐波分量、谐波含有率等参数,在通道采样率较低(10 kS/s)的情况下,可以做到实时在线分析,如果提升 CPU 主频,也可以做到最高采样速率下(150 kS/s 以上)的实时在线分析。

在实际应用中,已知电网频率(50 Hz)的情况下,设置数据采集卡的采样频率为 2 的  $N$  次方,采样时间为波形周期的整数倍,谐波分析就可以做到整周

期采样,频谱泄漏可以减少到最低,加窗后反而会增大泄漏,出现较大旁瓣。

## 2.2 原始数据管理与测试报告

在测试过程中,使用 C++ 中的文件串行化技术将实时采集的原始数据存储为二进制文件,主要用于焊机电源测试原始数据的存储,为以后的离线分析提供可靠的实验数据。通过对电网侧电压和电流的实时快速采样,将测试得到的数据分析结果存于 Access 数据库中,可对不同焊机、同一型号在同一实验条件下的多次测试结果进行对比分析,为改进焊机的谐波抑制提供了参考依据。

测试完成后,可以将测试结果(如电压、电流的有效值、谐波含有率、电压电流畸变率)输出到 Word 文档,电压、电流波形及谐波分布也可以同时在 Word 显示,形成测试报告并打印输出。

## 3 谐波与功率因数

电力系统中,对于周期为  $T=2\pi/\omega$  的非正弦电量进行傅立叶级数分解,除了得到与电网基波频率相同的分量,还得到一系列大于电网基波频率的分量。下面以电压  $u(t)$  为例,在满足狄里赫利条件下,可分解为

$$u(t)=a_0+\sum_{n=1}^k A_n \sin(n\omega t + \varphi_n), \quad (n=1, 2, 3, \dots, k) \quad (1)$$

式中 频率为  $n\omega$  的项即为谐波项; $A_n$  为  $n$  次谐波的幅值;谐波频率与基波频率的比值  $n=f_n/f_s$ , 称为谐波次数。

在实际工作中常用频谱(幅频特性)来表示谐波含有率。一般非正弦周期量偏离正弦波的程度常以各次谐波有效值的平方和的方根值占基波有效值的百分比来表示,称为畸变率  $THD$ (Total Harmonic Distortion)例如电流的谐波畸变率为

$$THD_i=100 \times \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $THD_i$  为电流谐波畸变率; $I_1$  为基波电流的有效值; $I_n$  为  $n$  次谐波电流的有效值。

一般情况下,供电电网电压的畸变率比电流的畸变低得多,且电网的电压畸变多是由于电流的畸变引起的,可以将电网电压看作标准正弦波,则有功率  $P$  为

$$P=UI \cos \varphi_1 \quad (3)$$

视在功率  $S$  为

$$S=UI=U \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (4)$$

则功率因数  $PF$  为

$$PF=\frac{P}{S}=\frac{I_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \quad (5)$$

令  $\gamma = \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}}$ , 式(5)也可以写成

$$PF=\gamma \cos \varphi_1 \quad (6)$$

式中  $\gamma$  为畸变因子; $\cos \varphi_1$  为位移因子<sup>[2]</sup>。

## 4 实验分析

### 4.1 理论分析

由于待测焊机均为逆变直流焊机,逆变焊机的输入端采用三相不可控桥式整流电路,将三相 380 V 交流电整流为直流电,弧焊逆变电源为保证逆变主电路的功率变换器件(如晶闸管和 IGBT)输入电压的稳定,一般在整流桥后接有大容量电容或者 LC 进行滤波。理论上,桥式整流电路,输出电压一周脉动 6 次,电流中仅含有  $6k \pm 1$  次谐波, $k=1, 2, 3, \dots$ 。网侧电流多为两个尖角波,只是控制角不同,尖角波的宽度不同<sup>[2]</sup>。

### 4.2 实验条件

使用本测试系统分别测试分析 ZX-400 IV、NBC-350 III 和 MZ-1250 I 三类焊机,设置数据采集卡采样频率为 102 400 S/s,采集时间为 10 s,这样就可以做到整周期采样,最大分析带宽为 50.1 kHz,频谱分辨率为 0.1 Hz。

测试对象为 ZX7-400 IV、NBC-350 III、MZ-1250 I 三种逆变焊机,涵盖了常用的手弧焊、CO<sub>2</sub> 气体保护焊和埋弧焊,采用大功率无感电阻负载箱模拟电弧负载,焊机的工作电压和工作电流,根据焊机的下降特性或平特性,均符合负载特性曲线。并且按照被测焊机的额定工作电流的不同,分别测试了在输出电流 100 A 到 1 000 A 情况下的网侧电压电流波形和频谱分布。

### 4.3 实验结果

以下为手弧焊机 ZX7-400 IV 为例,在 100 A、400 A 时,网侧三相中已经展开后的某一相电压电流波形和频谱分布如图 2~图 7 所示。可以看到电压畸变不是很严重,而电流畸变则相当严重,谐波主要分布在 5、7、11、13、17、19、 $\dots$ , 次。



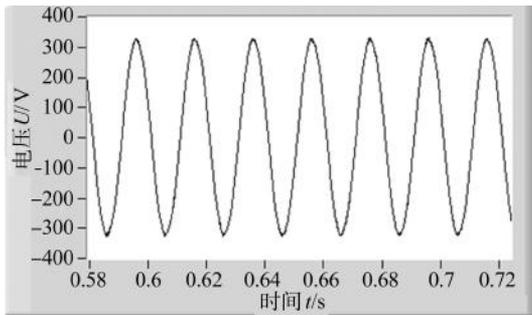


图 2 输出电流 100 A 时的网侧电压波形

Fig.2 Input voltage waveform with 100 A output current

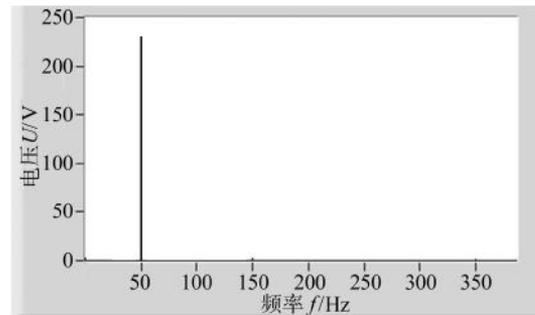


图 3 输出电流 100 A 时的网侧电压谐波

Fig.3 Harmonics of input voltage with 100 A output current

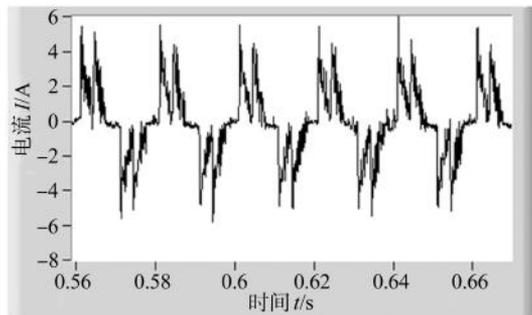


图 4 输出电流 100 A 时的网侧电流波形

Fig.4 Input current waveform with 100 A output current

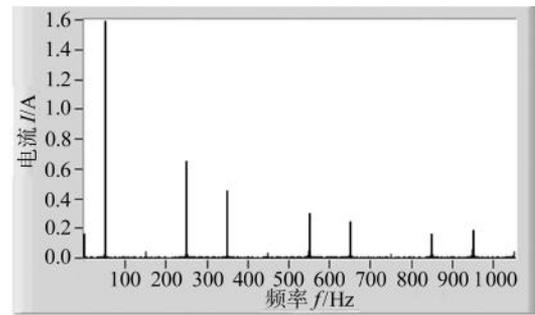


图 5 输出电流 100 A 时的网侧电流谐波

Fig.5 Harmonics of input current with 100 A output current

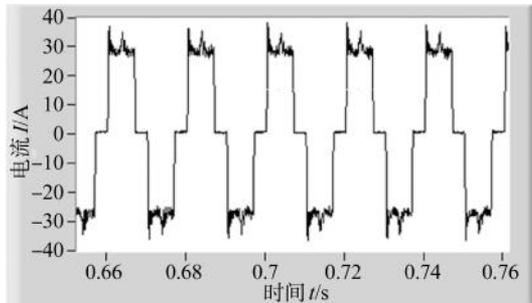


图 6 输出电流 400 A 时的网侧电流波形

Fig.6 Input current waveform with 400 A output current

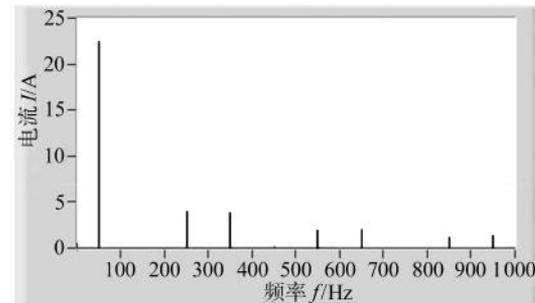


图 7 输出电流 400 A 时的网侧电流谐波

Fig.7 Harmonics of input current with 400 A output current

焊机功率因数与畸变系数如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 随着焊机输出电流的增大, 即

表 1 焊机功率因数与畸变系数

Tab.1 Distortion coefficient of welding machine

实验机型	输出电流 I/A	功率 因数	电压 THD /%	电流 THD /%	K=1 /A	K=5 /A	K=7 /A	K=11 /A	K=13 /A	K=17 /A	K=19 /A
ZX7-400IV	100	0.79	5.11	46.48	3.33	0.77	0.65	0.35	0.31	0.18	0.19
ZX7-400IV	200	0.82	1.86	34.59	8.09	1.43	1.49	0.73	0.82	0.48	0.60
ZX7-400IV	400	0.83	2.67	30.03	22.28	3.92	3.71	1.92	1.95	1.21	1.29
NBC-350 III	100	0.48	1.93	149.40	3.68	2.91	2.34	2.01	1.72	1.69	0.97
NBC-350 III	200	0.63	2.35	95.30	8.37	4.45	3.12	2.84	2.84	3.19	1.79
NBC-350 III	300	0.73	3.69	64.73	14.76	4.77	4.11	3.28	3.39	3.68	1.78
MZ-1250 I	100	0.53	1.64	128.80	3.87	3.41	2.60	2.43	1.34	1.43	0.39
MZ-1250 I	500	0.57	7.08	114.80	32.48	27.48	20.95	11.85	6.00	0.16	1.12
MZ-1250 I	800	0.63	9.65	93.70	55.83	38.22	30.86	13.95	3.56	0.54	1.12

负载越大,  $\omega RC$  越小, 基波越大, 谐波相对越小, 滤波电路的电容作用降低, 电流  $THD$  逐渐减小, 功率因数逐渐提高。

通常采用电磁式仪表测量的功率因数只是电路的位移因子, 厂家在标称功率因数时也是以满载情况下的位移因数为准, 而在大功率电力电子整流设备中畸变因子是不可忽略的, 这就是通常弧焊逆变电源功率因数额定值较高的原因<sup>[9]</sup>。

经过对焊机在不同负载下谐波分析, 可以看出, 滤波电容的引入是造成网侧电流畸变的主要因素, 埋弧焊机 MZ-1250 在 500 A 输出的情况下, 电压畸变率已经达到了 7% 以上, 超过了国标 GB/T14549-93《电能质量公用电网谐波》中 380 V 电压畸变率不超过 5% 的规定, 谐波电流在接近满载输出下, 也逼近了国家规定。可见焊机谐波治理是非常迫切的。

#### 4.4 谐波治理的建议

目前逆变焊机多采用的是无源滤波方式, 由实验数据可以看出, 无源滤波方式对于负载变化的适应性不佳, 在负载较轻的情况下, 电流畸变率较高。

而有源滤波方式是抑制谐波和补偿无功功率最理想的方法, 优点有: 能实现动态补偿, 可对频率和大小都变化的谐波以及变化的无功功率进行补偿; 对补偿对象的变化有极快的响应; 可同时对谐波和无功功率进行补偿。有源滤波方式是未来焊机

谐波治理发展的方向。

## 5 系统抗干扰性

为防止焊机工作时由于恶劣环境下的干扰造成系统测量误差, 使用了软硬件各种方式来降低干扰, 传感器信号线使用了屏蔽线, 并遵循单点接地的原则, 信号源悬空, 屏蔽层接入测试仪机壳, 减少串模和共模干扰。信号调理使用两套正负开关电源供电, 分别给电压信号和电流信号调理电路, 并且接入数据采集卡的不同的模拟地, 否则会出现相互干扰的问题, 造成测量误差, 尤其对电压测量干扰较大。

## 6 结论

该系统是为了适应对弧焊电源谐波特性的分析需要, 研制开发的一种新型谐波分析仪。系统充分利用了计算机资源, 将焊机电源的谐波分析和数据管理集成在一起, 已在焊机电源的研制和生中得到应用。

### 参考文献:

- [1] 陈树君, 卢振洋, 殷树言, 等. 弧焊逆变电源的输入性能分析与滤波电路参数优化[J]. 电焊机, 2004, 34(6): 36-40.
- [2] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术(第四版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 69-73.
- [3] 陈树君, 殷树言, 卢振洋. 三相大功率焊接逆变电源的网侧电流谐波抑制[J]. 焊接学报, 1999(3): 207.

## 电磁兼容术语(一)

**电磁环境(Electromagnetic Environment):** 存在于给定场所的所有电磁现象的总和。

**电磁噪声(Electromagnetic Noise):** 一种明显不传送信息的时变电磁现象, 它可能与有用信号叠加或组合。

**无用信号(Unwanted signal, Undesired signal):** 可能损害有用信号接收的信号。

**干扰信号(Interfering signal):** 损害有用信号接收的信号。

**电磁骚扰(Electromagnetic Disturbance):** 任何可能引起装置、设备或系统性能降低或者对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象。

**电磁干扰(Electromagnetic interference, EMI):** 电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能下降。

**电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility, EMC):** 设备或系统在其电磁环境中能正常工作, 且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

**电磁发射(Electromagnetic Emission):** 从源向外辐射电磁能的现象。

**无线电通信的发射(Emission in Radiocommunication):** 由无线电发射台产生并向外发出无线电波或信号的现象。

**电磁辐射(Electromagnetic Radiation):** 能量以电磁波形式由源发射到空间的现象; 能量以电磁波形式在空间传播。

**无线电环境(Radio Environment):** 无线电频率范围内的电磁环境; 给定场所内所有处于工作状态的无线电发射机产生的电磁场的总和。

