

# 焊机输入电量测量方法的探讨

尹海, 刘泉, 黄疆, 邓伟

(山东奥太电气有限公司, 山东 济南 250101)

**摘要:**为了解决在非正弦输入电流的条件下对焊机输入电流、输入功率、功率因数等各种电量的测量问题, 讨论了周期交流电流电路、正弦周期电流电路和非正弦周期电流电路中各种电量的数学关系。分析和探讨常规仪表测量非正弦周期电量所存在的问题。试验结果表明, 对于非正弦周期电量应采用基于谐波分析的数字化智能仪表进行测量, 用常规仪表测量将产生一定的误差。

**关键词:**非正弦; 谐波; 测量

中图分类号: TG403

文献标识码: B

文章编号: 1001-2303(2011)03-0024-04

## Research on measuring method for input power of welding machine

YIN Hai, LIU Quan, HUANG Jiang, DENG Wei

(Shandong Aotai Electric Co., Ltd., Ji'nan 250101, China)

**Abstract:** In order to solve the problems in measuring welder input current, input power and power factor under the condition of non-sinusoidal input current, mathematical relations in a variety of electricity are presented and discussed for periodic alternating current circuits, sinusoidal periodic current circuit and non-sinusoidal periodic current circuit. The problems in measuring non-sinusoidal periodic electricity by conventional meter are analyzed. The results show that non-sinusoidal periodic power should be measured by digital intelligent instrumentation based on harmonic analysis, and measuring with conventional instrumentation will have some error.

**Key words:** non-sine; harmonic; measurement

## 0 前言

随着各种电力电子设备的大量采用, 产生了许多新的问题。以焊机为例, 普通交流焊机的输入电流是正弦的, 其各种电量如电流、电能、功率、功率因数都可以用常规仪表进行检测或计量。近年来, 晶闸管整流焊机和逆变焊机得到了大量使用, 其输入电流不再是正弦的。在这种情况下, 如何对此类设备进行电流检测、计量收费、功率因数补偿、能耗评价以及谐波抑制或补偿已被人们广泛关注。在此对一些基本概念进行梳理和表述, 探讨非正弦周期电流电路参数的测量。

## 1 基本电量的定义和关系

### 1.1 周期交流电流电路参数的基本定义

对于任何周期性电流  $i$ , 其有效值  $I$  的定义是

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

同理, 对于任何周期性电压  $u$ , 其有效值  $U$  的定义是

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (2)$$

电流  $i$  与电压  $u$  的瞬时值的乘积为瞬时功率  $p$ 。 $p$  在一个周期内的平均值称为平均功率, 即有功功率  $P$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (3)$$

电流  $i$  与电压  $u$  的有效值的乘积为视在功率  $S$

$$S = UI \quad (4)$$

视在功率  $S$  在物理上的含义是: 在给定的电压和电流下所能获得的有功功率的最大值。

一般情况下, 视在功率并不能完全做功, 即有功功率一般小于视在功率。为了表述有功功率在视在功率中所占比例, 引入了功率因数  $PF$  的概念

收稿日期: 2010-03-10

作者简介: 尹海(1956—), 男, 浙江临海人, 副教授, 硕士, 主要从事逆变焊机的研发工作。

$$PF = \frac{P}{S} \quad (5)$$

## 1.2 正弦周期电流电路参数的基本定义

设电路中  $u = U_m \sin \omega t$ ,  $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ , 则根据式(1)和式(2), 两者的有效值分别为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

由式(3)可得

$$P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi \quad (8)$$

式中  $\varphi$  为  $u$  和  $i$  之间的相位角。

根据式(5)可知, 此时功率因数为  $PF = \cos \varphi$ , 因与  $u$  和  $i$  之间的相位差有关, 故又称之为相移功率因数。

为了描述电网与负载之间只进行交换但并不做功的功率, 传统电工学理论引入了无功功率  $Q$

$$Q = UI \sin \varphi \quad (9)$$

此时有

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (10)$$

## 1.3 非正弦周期电流电路参数的基本定义

当  $i$  和  $u$  存在谐波时, 可用谐波分析法分解为

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ki}) \quad (11)$$

$$u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ku}) \quad (12)$$

式中  $I_0$  和  $U_0$  为直流分量。

由于焊机输入电流、电压中一般没有直流分量, 故有

$$i = \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ki}) \quad (13)$$

$$u = \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ku}) \quad (14)$$

将式(13)、式(14)分别代入式(1)、式(2)得  $i$ 、 $u$  的有效值为

$$I = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (15)$$

$$U = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \quad (16)$$

式中  $I_k$ 、 $U_k$  为各次谐波的有效值, 分别为  $I_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}}$ ,

$$U_k = \frac{U_{km}}{\sqrt{2}}。$$

非正弦周期量偏离正弦波的程度, 以总谐波含量占基波有效值的百分比来表示, 称为总谐波畸变系数 THD(Total Harmonic Distortion)。如电流  $i$  的总谐波畸变系数(单位: %)为

$$THD_i = \frac{I_h}{I_1} \quad (17)$$

式中  $I_1$  为电流  $i$  中基波电流的有效值;  $I_h$  为电流  $i$  中的总谐波含量  $I_h = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}$ 。

将式(13)、式(14)代入式(3)得

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots \quad (18)$$

式中  $\cos \varphi_k$  为各次谐波的功率因数。

此时视在功率为

$$S = UI = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (19)$$

迄今为止, 非正弦周期电流电路中无功功率和功率因数的数学表达还没有权威的标准形式。尽管研究者从频域或时域用不同的方法给出过一些描述, 但都还存在一些不足, 尤其是这些描述较繁琐, 计算困难, 其物理含义不再像正弦电路里那样直观明确和容易理解<sup>[1-3]</sup>。

## 1.4 输入电压为正弦时, 非正弦周期电流电路参数的基本定义

一般而言, 电网电压比电流的畸变小得多。为了便于分析和测量, 常常假定电压是正弦的, 这样各种关系相对简单一些。此时

$$U = U_1, P = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = UI \cos \varphi_1 \quad (20)$$

式中  $\cos \varphi_1$  是基波电流与电网电压相位角的余弦。

$$S = UI = U \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (21)$$

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{U I_1 \cos \varphi_1}{U \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}} = \frac{I_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}} = \gamma \cos \varphi_1 \quad (22)$$

式中  $\gamma$  为畸变因数,  $\gamma = \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_i)^2}}$ ,

用来表达谐波电流对功率因数产生的影响。各次谐波为 0 时,  $\gamma = 1$ 。

## 2 非正弦周期电流电路参数的测量

传统的电压表、电流表、功率表、功率因数表、

电度表都是根据电磁原理针对工频正弦波设计的,若被测对象不是正弦波时,测量值会出现误差。波形畸变严重时,可能会出现很大的测量误差。

例如,电磁系或电动系电流表原理上是根据电流有效值  $I$  偏转指示的<sup>[4]</sup>。但谐波成分较大时,其读数将会与实际有效值发生偏差<sup>[5]</sup>,此时肯定不会是基波  $I_1$  值。

普通功率因数表是根据电动式偶衡表的原理制作的,其偏转角与同频率电压和电流间的相位差有关。但对于高次谐波电流,由于它在一个基波周期内所产生的电磁力将互相抵消,对指针的偏转角不起作用。其读数反映不了畸变因数的问题,基本只反映相移功率因数,数值偏大<sup>[5-6]</sup>。

感应式电度表是在工频附近很窄的频带范围内设计的,当同频率的电压和电流产生的磁通之间相互作用时,产生转动力矩使转盘转动。当电网电压和电流波形畸变时,其测量误差将随着高次谐波的增大而增大。例如:当电压为正弦波,电流发生畸变时,电度表的误差随畸变率的增大而增大,且为正向误差<sup>[7]</sup>。

一直以来,研究者都在理论和实践上对非正弦周期电流电路参数的分析和测量进行努力,也取得了很多成果。如标准的建立,依据先进的理论、算法和计算机技术研制的数字化仪表等。国外在上述各方面都发展较快,国内也在加紧对非正弦量计量方法的探索和对非正弦量计量仪表的研制<sup>[1]</sup>。

但是,由于研究者在理论上还存在不同的观点,致使对一些产品的认同导向都存在问题<sup>[2]</sup>。长期以来,国内电力系统计量及检测机构所采用的还都是常规的电磁式或电动式测量仪表,对新标准的研究建立和新式的数字化仪表接受还要有一个过程,但是这一过程应该加快。

在数字化测量仪表中,比较典型的代表是美国福禄克公司生产的电能质量分析仪 FLUKE43B。它通过对基波和 51 次以内谐波的分析 and 计算,可以给出较为准确的电压、电流、有功功率  $P$ 、视在功率  $S$ 、功率因数  $PF$ 、位移功率因数  $DPF$ (即  $\cos\varphi_1$ )、各次谐波相位角  $\varphi_k$  和总谐波畸变系数  $THD$  的数值,使用便捷。

表 1 是对山东奥太电气有限公司生产的 ZX7-400 和 NBC-500 焊机进行测试的一组数据。其中输出电流的测量采用 FLUCK337(钳形表)、输出电压的测量采用 FLUCK17B(万用表)、输入电流的测量

采用 FLUCK43B 和常规指针表 T51-I、输入电压的测量采用 FLUCK43B 和常规指针表 T51-V、输入功率因数的测量采用 FLUCK43B。

表 1 测试数据

| 焊机型号                             | ZX7-400  | NBC-500 |
|----------------------------------|----------|---------|
| 输出电流 $I_2/A$                     | 300      | 300     |
| 输出电压 $U_2/V$                     | 28.3     | 37.9    |
| 输入相电流 $I_a/A$ (常规仪表)             | FLUKE43B | 14.11   |
|                                  | T51-I    | 14.75   |
| 输入相电流 $I_b/A$                    | FLUKE43B | 14.57   |
| 输入相电流 $I_c/A$                    | FLUKE43B | 14.21   |
| 输入相电压 $U_a/V$                    | FLUKE43B | 231.8   |
|                                  | T51-V    | 234     |
| 输入相电压 $U_b/V$                    | FLUKE43B | 231.3   |
| 输入相电压 $U_c/V$                    | FLUKE43B | 231.5   |
| 输入功率因数 $PF$                      |          | 0.95    |
| 输出功率 $P_o/kW(P_o=I_2 \cdot U_2)$ |          | 8.46    |
| 输入有功功率 $P_i/KW$                  | FLUKE43B | 9.43    |
|                                  | T51      | 9.96    |
| 效率 $\eta=P_o/P_i$                | FLUKE43B | 0.90    |
|                                  | T51      | 0.85    |

表 1 中,由 FLUKE43B 测量得到的输入有功功率  $P_i$  为

$$P_i(\text{FLUKE43B})=(U_a I_a+U_b I_b+U_c I_c) \times PF$$

注意:三相输入功率不平衡,只测试一相功率后乘以 3 会引入一定误差。

由 T51 测量并得到的输入有功功率  $P_i$  为

$$P_i(T51)=[U_a I_a(T51)/U_a I_a(\text{FLUKE43B})] \times P_i(\text{FLUKE43B})$$

由表 1 的数据可知:普通仪表与 FLUKE43B 测量并计算得到的输入功率的偏差主要是由电流表产生的。ZX7-400 测量时电流表的误差为 4.5%,电压表的误差为 1%,计算得出的输入功率误差为 5.5%;NBC-500 测量时电流表的误差为 7.8%,电压表的误差为 1.5%,计算得出的输入功率误差为 9.4%。

图 1 和图 2 分别是 ZX7-400 和 NBC-500 测试时的电压和电流波形。

由图 1、图 2 可知:电流、电压波形越偏离正弦波,普通仪表数值与 FLUKE43B 数值相比的正偏差就越大,得到的焊机效率就越低,这明显是不合理的。

### 3 结论

对于非正弦周期电量应采用基于谐波分析的数字化智能仪表进行测量,用常规仪表测量将产生

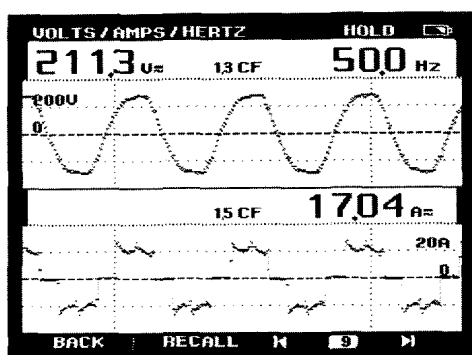


图1 测试 ZX7-400 的电压、电流波形

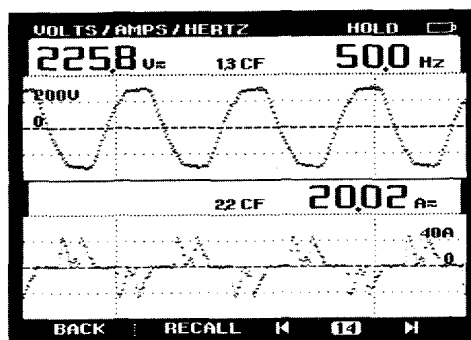


图2 测试 NBC-500 的电压、电流波形

一定的误差。

### 参考文献:

- [1] 刘晓晟.电力系统非正弦波形下的功率计量综述[J].现代测量与实验室管理,2006(1):3-7.
- [2] 张旭俊.非正弦波形下功率测量技术的探讨[J].电力自动化设备,2002,22(5):67-69.
- [3] 刘俊涛.关于非正弦条件下无功功率的定义和计算的简

单分析[D].江西:上饶师范学院,2007.

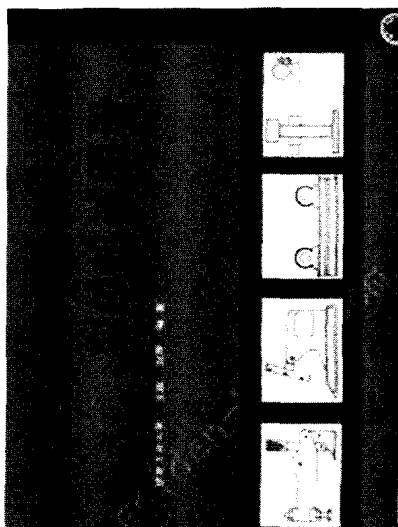
- [4] 邱关源.电路[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 陈文光.功率因数的概念及测试方法探讨[J].电气电子教学学报,2002,24(5):73-75.
- [6] 张燕宾.张燕宾讲变频(五)—关于变频器的功率因数[J].电气时代,2008(6):108-110,112.
- [7] 张存礼.谐波对感应式电能表计量影响与对策[J].电力设备,2006,7(1):64-65.

## 好书推荐,欲购从速!

### 《焊接工装夹具及变位机械图册》

书号:237

定价:38



本图册由焊接工装夹具、焊接变位机械、焊接机器人及其与焊件变位机械的组合应用、装焊吊具及装焊辅具等 253 个图例组成。多数图例是以结构图的形式给出,有的还指出了设计要点,给出了计算公式或参考文献。对于以选用为主的装备,例如焊接机器人,则配合图例主要介绍其原理、特点、性能以及选用时的注意事项等。为了使读者在设计非标工装时对一些装备的细部结构能有所借鉴,对一些复杂的图例,在给出总装图的同时还给出了部位图以至零件图,有的还画出了传动简图,并作了较详细的文字说明。本图册主要供广大焊接工程技术人员在设计或选用焊接工艺装备时使用,也可作为大专院校师生焊接工装设计的参考教材。1991 年该书一经出版便受到广大焊接人士的极大欢迎,2006 年该书第三次印刷仍被焊接设计者视为经典。