

多峰超声振动系统频率自动搜索和跟踪

朱 武, 张佳民

(上海电力学院, 上海 200090)

摘要: 在大功率超声应用中, 由于超声振动系统具有多峰性, 超声振动系统的频率搜索和频率跟踪非常困难。文中用实验的方法研究多峰振子与振动系统的电流电压相位和电流大小关系, 以及工具头的横向尺寸与振动系统主峰频宽之间的关系。根据实验规律, 文中采用相位和电流双参数对振动系统的谐振状态进行判别, 并在 20kHz 超声塑料焊接机上进行了频率搜索和频率跟踪实验, 实验表明双参数频率搜索和跟踪的方法是可行的。

关键词: 功率超声; 频率跟踪; 频率搜索; 多峰性

中图分类号: TB559

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2008)-03-0361-04

Frequency searching and tracking for multimodal ultrasonic vibration system

ZHU Wu, ZHANG Jia-min

(Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: In the high power ultrasonic application, it is difficult to search and track frequency of ultrasonic vibration system automatically as a result of the multimodal characteristic of ultrasonic vibration system. In this paper the relations between the multimodal vibration system and the phase of voltage and current of vibration system and the value of current, and the relation between transverse size of ultrasonic probe and bandwidth of the highest peak of vibration system, are studied with experimentation. On the experimental rule, the state of resonance of vibration system is identified by phase and current. The experiment of frequency searching and tracking has been done on the ultrasonic plastic welding machine operating at 20kHz, and the result shows that the method of frequency searching and tracking with double parameters is valid.

Key words: power ultrasonic; frequency tracking; frequency searching; multimodal characteristic

1 引 言

在大功率超声应用中, 超声换能器、变幅杆和工具头组成的振动系统的固有谐振频率易受发热、老化、磨损、疲劳等因素影响发生谐振频率漂移。如果发生器的工作频率不随之改变, 换能器将工作于失谐状态而使效率降低, 甚至停振。因此, 必须对振动

系统进行频率跟踪, 以维持系统处于最大振幅状态。由于材料加工工艺和振动系统本身形状等原因, 据资料表明^[1], 目前研制的超声振动系统具有多峰值性, 即系统具有多个谐振频率, 其对应的频带宽度和峰值大小各不相同, 频带越宽、峰值越大的谐振点, 效率也越高。多峰性反映在系统电阻抗特性方面表现为超声系统具有多个电流极值点或电压电流同相位点, 这些点的电流极值也不相同, 频率-阻抗曲线如图 1 所示。因此, 超声振动系统在通电开始工作、或者更换工具头、或改变加工对象时, 振动系统的谐振频率和激励信号源的频率都可能发生变化, 必须对振动系统的谐振频率进行搜索, 找到振动系统的谐振点之后, 然后进行频率的跟踪。传统单一的相

收稿日期: 2007-10-05, 修回日期: 2008-01-14

基金项目: 上海市教委项目(05LZ13); 上海市教委优秀青年教师后备人选培养计划(04YQHB126); 上海市重点学科建设资助项目(P1303)

作者简介: 朱 武(1969-), 男, 湖北人, 博士, 副教授, 硕士生导师。主要从事检测技术、智能仪器、大功率超声应用等方面的研究。

通讯作者: 朱 武, E-mail: zjmzwzsy@126.com

表 1 相位和电流与频率的关系表
Table 1 Relations between frequency and phase and current

电流-电压相位关系						电流变化趋势					电流大小				
工具头	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
c	超前	超前	超前	超前	超前	增大	增大	增大	增大	增大	大	大	大	大	大
b	滞后	滞后	滞后	滞后	滞后	减小	减小	减小	减小	减小	小	小	小	小	小
a	超前	超前	超前	超前	超前	增大	增大	增大	增大	增大	小	小	小	小	小
e	滞后	滞后	滞后	滞后	滞后	减小	减小	减小	减小	减小	大	大	大	大	大

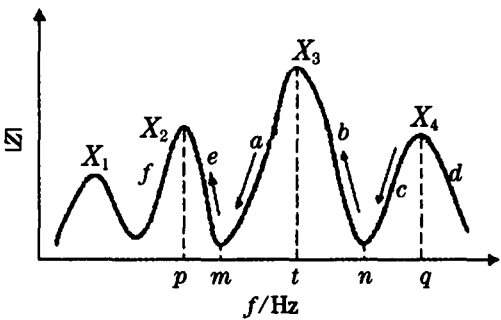


图 1 多峰振动系统的阻抗频率曲线
Fig.1 Impedance of multimodal vibration system vs frequency

位法和电流反馈法都有一定的缺陷,可能造成误判断。本文采用相位和电流双参数对系统谐振频率进行搜索,将很好解决这一问题。

2 多峰振子特性的实验

超声换能器可以工作在两个频率点,即并联谐振点和串联谐振点。在并联谐振点时,超声振动系统具有自动调功的能力,即换能器在空载时吸收的功率小,有负载时吸收的功率大,并且负载越重,吸收的功率越大,传输给负载的功率也越大。因此,本研究的实验机采用并联谐振方式。

超声振动系统是一个十分复杂的时变系统,建立其精确的数学模型比较困难。此外,超声振子具有多峰性,给超声振动系统的谐振频率搜索和谐振频率跟踪带来困难,不利于超声设备安全运行和高效工作,在生产调试和工作过程中经常发生烧机和效率下降等问题。为了解决这一问题,作者在自制的 20kHz 它激式超声塑料焊接机上,进行多峰超声振子的一些实验研究。

由于超声振子是一个窄带系统,当换能器振子做好之后,其并联谐振频率变化范围基本可以初步判断,不会偏离测量值太多。虽然超声振子具有多峰性,但远离主峰的谐振点频率与主峰谐振点频率之间相距较远,基本不会对频率搜索产生误操作,

可以不考虑。因此,频率搜索的范围可以选择在主峰两侧的旁峰内侧(如图 1),即频率从 p 点到 q 点范围。根据以往手动调试经验,超声振动系统开始工作时,首先在空载时搜索并联谐振点,找到并联谐振点之后,启动系统的频率自动跟踪。为了避免空载时,串联谐振点输出功率过大,损坏振子,频率搜索时选择频率从大到小的方向进行搜索。研究振动系统的电流与电压相位关系,以及电流大小及其变化规律。本研究选用五种横向尺寸不同的工具头进行实验,进行手动频率搜索。其中,1 号工具头为楔形,顶视图尺寸为 $9 \times 4 \text{cm}$;2 号工具头为阶梯圆柱形,直径为 4.8cm ;3 号工具头为楔形,顶视图尺寸为 $16 \times 5.5 \text{cm}$,在长度方向上等间距开有两个纵向槽;4 号工具头为阶梯圆柱形,直径为 3.35cm ;5 号工具头为阶梯圆柱形,直径为 8.28cm 。进行手动频率搜索过程中,用相位判别电路观测流过振动系统的电流和电压相位关系,用电流表检测电流大小及其变化,实验结果如表 1 所示。

在实验中发现,工具头的横向尺寸不同,并联谐振主峰瓣的频率带宽也不一样,即图 1 中从 m 点到 n 点的频率之差。本研究在 20kHz 超声振子上对上述五种工具头进行空载测试,在主峰瓣的高频侧进行手动频率搜索实验,测得半主瓣的频宽,测得结果如表 2 所示。从实验结果可以看出,同一超声换能器振子配上不同的工具头后,振动系统的并联谐振频率要发生变化,并联谐振主峰的带宽也不同,横向尺寸越大,主峰的频带越窄;大尺寸工具头开纵向槽之

表 2 带宽测试数据
Table 2 Bandwidth testing results

工具头	并联谐振点	横向尺寸	半主峰带宽
1	19.92kHz	9cm	160Hz
2	19.84kHz	4.8cm	240Hz
3	19.93kHz	16cm	220Hz
4	19.98kHz	3.35cm	260Hz
5	19.96kHz	8cm	210Hz

后,展宽了谐振主峰的带宽。

3 频率搜索和跟踪的控制策略

3.1 相位判别和电流取样的硬件电路

超声波塑料焊接机在使用的过程中要解决好两个问题,一是系统上电或更换工具头后,设备要准确搜索到振动系统的并联谐振点;二是要在工具头磨损、温度变化和负载变化时,实时跟踪系统的并联谐振频率。传统的方法很难满足这一要求。本文采用电流反馈和电压、电流相位信息双参数对超声振动的工作状态进行判别,其频率搜索和频率跟踪的硬件电路原理如图2所示。取样电路对超声振动系统的电流和电压分别进行取样,通过滤波放大后输出两路交流电压信号(这部分电路略)。首先经过两个由集成块 LM339 和二极管构成的电压比较器,将正端输入信号和负端零电位比较,信号大于零时,输出高电平,信号小于零时,输出低电平。于是,正端交变的电压信号的正半周转化为高电平,负半周转化为低电平,形成了同周期而幅度为 5V 的方波信号,方波信号的相位即为电压或电流信号的相位。D 触发器 4013 的 D 端接电流方波信号,CLK 端接电压方波信号,触发器输出 Q 端产生开关信号,高电平表示电流超前电压,低电平表示电流滞后电压,将信号送入到单片机 I/O 口;电流传感器 LEM 模块采样振动系统主回路的电流,通过 R9 实现 I/V 变换后经 LF356 放大后进行模数转换;单片机控制 D/A 转换器输出直流电压经 OP07 缓冲放大后调整 TL494 振荡器电容的充放电速度,改变 TL494 的输出频率,

为实现频率搜索和频率跟踪提供频率调整的技术手段。

3.2 频率搜索和频率跟踪的策略

振动系统的谐振频率跟踪有多种方法,其中在电反馈中,锁相法和电流反馈法应用最为广泛^[25],对于单峰振子来说,按照锁相法或电流反馈法的控制规律,控制的结果必将收敛在振动系统的并联谐振点附近的某个频率范围,这两种方法都有很好的频率跟踪效果。对于多峰性振子来说,若激励源信号的起始频率在振子的主峰之间,即 m 和 n 之间(见图1),采用单一的锁相方法或电流反馈法进行频率跟踪是可行的;若激励源信号的起始频率在振子的主峰之外,采用单一的锁相方法或电流反馈法进行频率跟踪,按照锁相法或电流反馈法的控制规律,系统的跟踪频率必将收敛于 X2 或 X4 等旁峰上,大大降低效率。通过第2节对5种不同多峰振子特性的实验验证,从实验结果可以看出,当激励信号源的频率处于 c 段时,频率由高向低扫描时,相位关系和电流变化趋势和主峰左侧的 a 段一样,但电流较大;当激励信号源的频率处于 e 段时,频率由高向低扫描时,相位关系和电流变化趋势和主峰右侧的 b 段一样,但电流较大。根据上述实验结果的规律,本文采用相位法和电流反馈法相结合,准确判断频率搜索方向,找到振子主峰的谐振频率,然后进入实时锁相频率跟踪控制。其频率搜索和跟踪的控制算法如图3所示。在自制的 20kHz 的塑料焊接机上,采用这种频率搜索和跟踪控制算法,在实验的过程中,程序没有出现出过错提示,能够在较宽的频率范围内准确搜索到振子的并联谐振频率,取得了很好的使用效果。

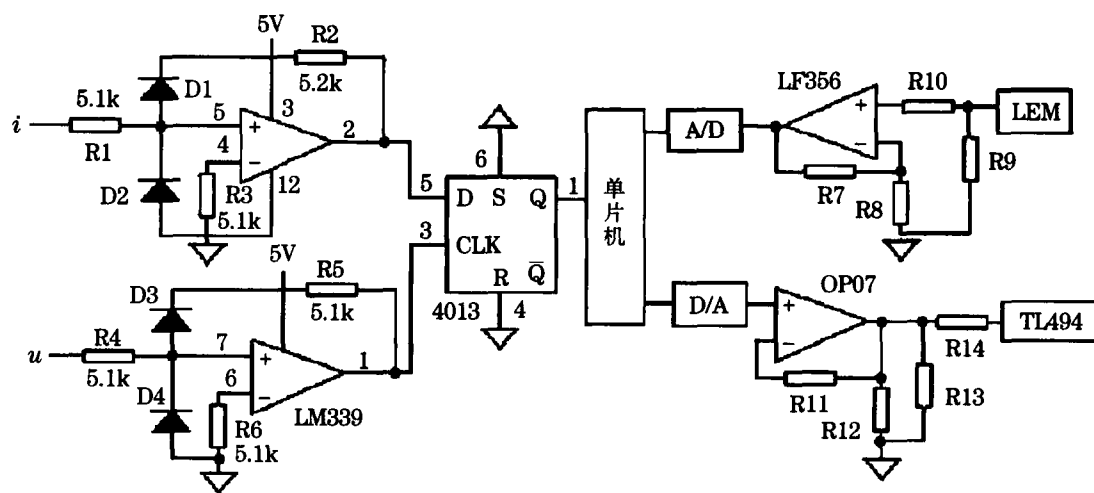


图2 频率搜索和频率跟踪的电路图

Fig.2 Circuit of frequency searching and tracking

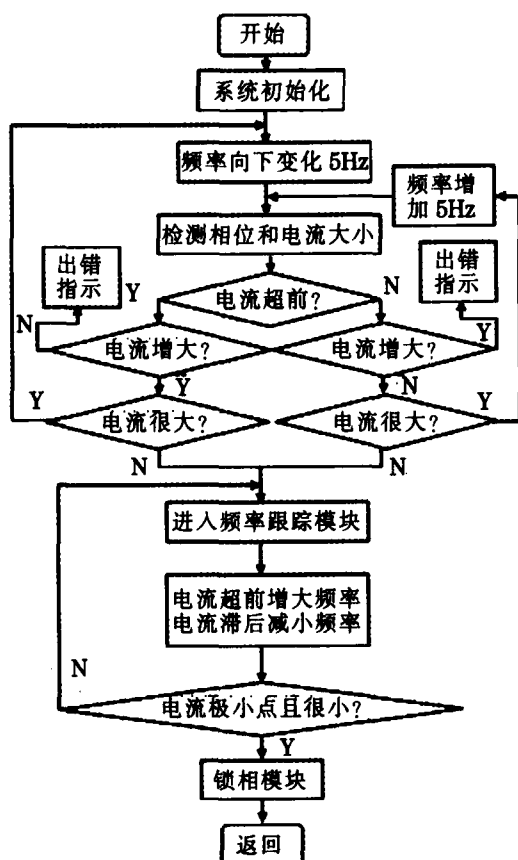


图3 频率搜索和跟踪的流程图

Fig.3 Flowchart of frequency searching and tracking

4 结 论

本文对多峰振子的频率搜索和频率跟踪进行了

研究,从实验结果可以看出,振动系统的工具头的横向尺寸不同,并联谐振主峰的带宽也不同,并且横向尺寸越大,主峰的频带越窄;大尺寸工具头开纵向槽之后,展宽了谐振主峰的带宽;采用相位和电流双参数联合控制的方法可以准确地搜索和跟踪多峰振子的并联谐振频率,取得良好的使用效果。

参 考 文 献

- [1] 马智龙, 丁玉薇. 程控功率超声发生器[J]. 声学技术, 1997, 16(1): 36-38.
MA Zhilong, DING Yuwei. Program controlled power ultrasonic electric generator[J]. Technical Acoustics, 1997, 16(1): 36-38.
- [2] 王艳东, 李赫, 王敏慧, 等. 锁相环跟踪超声振动系统谐振频率的改进[J]. 声学技术, 2007, 26(2): 253-256.
WANG Yandong, LI He, WANG Minhui, et al. Improving PLL tracking of ultrasonic vibration resonant frequency [J]. Technical Acoustics, 2007, 26(2): 253-256.
- [3] 吴卫华, 沈锦飞. 一种新型超声波塑焊电源的研制[J]. 自动化仪表, 2007, 28(2): 58-60.
WU Weihua, SHEN Jinfei. Research and development of a new power supply for ultrasonic plastic welding [J]. Process Automation Instrumentation, 2007, 28(2): 58-60.
- [4] 鲍善惠. 用锁相环电路跟踪压电换能器并联谐振频率区[J]. 应用声学, 2001, 20(3): 1-5.
BAO Sanhui. Tracking the f_p region of the piezoelectric transducer by the phase-locked loop circuit [J]. Applied Acoustics, 2001, 20(3): 1-5.
- [5] 董惠娟, 张广玉, 董玮, 等. 电超声换能器电端匹配下的电流反馈式频率跟踪[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2000, 32(3): 115-117.
DONG Huijuan, ZHANG Guangyu, DONG Wei, et al. Current feedback frequency tracking control with matching of piezoelectric [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2000, 32(3): 115-117.