

Development on Intellectualized Power Ultrasonic Generator

LIU Lihua, GU Yujiong, YANG Kun

(North China Electric Power University, Beijing, 102206)

Abstract: A Suit of intellectualized ultrasonic generator that is newly developed is introduced in detail. Its key techniques including wave-form producing, power magnifying, circuit safeguarding and so on are explained. Its dynamic matching problems based on the coupling surge produced by the exchanging energy system and the matching inductance are analyzed. And the designing scheme of the systemic software is presented.

Key words: power ultrasound, ultrasonic generator, impedance matching

EEACC: 1230B, 2860C

智能化功率超声发生器的研制^①

刘丽华, 顾煜炯, 杨昆

华北电力大学(北京) 北京 102206

摘要: 本文介绍一套新研制的智能化超声发生器, 详细说明其波形产生、功率放大、电路保护等关键技术, 浅析基于换能器系统与匹配电感耦合振荡基础上的动态匹配问题, 并给出了系统软件设计方案。

关键词: 功率超声; 超声发生器; 阻抗匹配

中图分类号: TN710

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2002)01-0067-04

1 引言

目前, 大功率超声发生器有两种激励形式: 一是自激式; 另一种是他激式。自激式线路简单、成本低, 但可靠性差, 如锁相环式易失锁。他激式线路复杂一些, 但可靠性好, 并且频率自动跟踪能力强, 例如用微机控制的超声波发生器, 在调谐不当、功率过高、换能器有故障或失灵时, 微机能自调或停止超声波的输出。本文介绍的智能化大功率超声发生器采用的是他激式, 由 MCS-80C196 单片机作为控制单元。

电路和控制软件共同完成电压控制振荡、数据采集处理、功率放大、阻抗匹配和频率自动跟踪等一系列功能。

如图 1 所示, 波形发生器发出频率为 20~38 kHz 的方波; 功率放大器转换约 300 W 的功率; 阻抗匹配网络使超声发生器向换能器负载实现最大功率传输; 超声振动系统将电能转换为机械能; 频率跟踪就是通过软硬件实现频率自动跟踪, 从而使超声振动系统处于最佳工作状态。

2 总体设计方案

为实现智能化控制, 功率超声发生器采用硬件

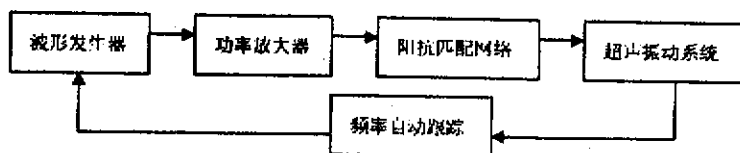


图 1 超声发生器原理框图

3 关键技术

在本仪器中,采用 MCS-80C196 单片机作为可编程信号发生器的控制器件,在设定的工作状态下,实时监测环境参数及超声振动系统的工作电流,并按一定的算法求出最佳输出值。它将为一级的压

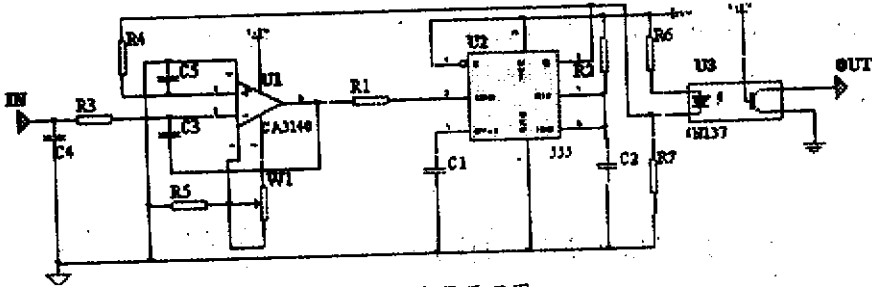


图 2 波形发生器原理图

3.2 功率放大器

功率放大器采用光电三极管射极跟随器作为驱动电路。这种接法使三极管的动态响应速度极快,与反相器接法相比至少要快 3~5 倍。由此,其波形的上下跳变的边沿很陡,经过精心调整,可使两路脉冲宽度匹配到数纳秒级,这对防止高频变压器偏磁非常有利。

此电路的设计原理如图 3 所示,其中 Q_1 为 2N551, Q_2 为 238, Q_3 为 237。由充电转为放电的过程中,当 B 点的电位变低后, I_{c1} 、 I_{b2} 、 I_{b3} 向 B 点放电,致使 Q_2 管的 b-e 结加上反向偏压,加速了放电过程。由于电路采用了宽频带大功率三极管,使其在高频大电流时具有较高的增益,提高了电路的动态响应能力。

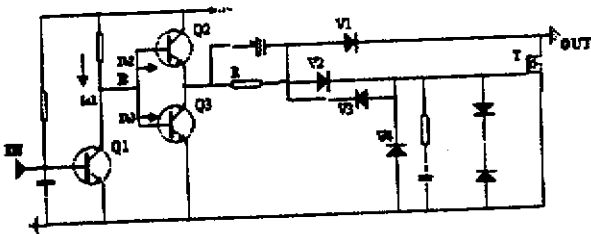


图 3 功率放大器工作原理

电路中的二极管 V_1 、 V_2 构成抗饱和和钳位电路,或称自适应驱动电路。当下一级的功率放大器件(场效应管模块)趋于饱和时,其漏极电位下降到一定

控振荡器提供控制电压。

3.1 波形发生器

如图 2 所示,在波形发生器与功率放大器的驱动电路之间采用高速光耦 6N137 对信号进行隔离与耦合,其具有一定的滤波作用,可以把控制回路的尖峰滤掉,使得波形光滑,避免开关的误动作。

值,二极管 V_1 导通,部分栅极电流被 V_1 分流,防止场效应管进入深度饱和区,漏极电位被钳制在栅极电位上,即 $U_{DS} \approx U_{GS}$,场效应管处于临界饱和状态。除此之外,在电路中反串了二极管 V_3 ,为场效应管模块的关断提供了反向偏置通路。

3.3 阻抗匹配网络

在功率超声技术开发中,换能器的阻抗匹配非常重要,在很大程度上决定了超声设备是否安全、高效地工作;若匹配不当,声功率会达不到要求,还可能导致换能器损坏。一般而言,匹配主要起调谐、变阻、滤波等作用。

振动系统的阻抗匹配设计一般采用两种方式:一是电感的串并联调谐方式,二是变压器式。它们有如下共同的特点:① 换能器工作于一个特定的频率 f_s ; ② 匹配电感也谐振于频率 f_s ; ③ 匹配电感必须取一个由计算而定的量,且计算时只涉及换能器的自身参数。基于此,这两种方式可称为静态匹配方式。

静态匹配模型简单明了,但在实际使用时存在一些问题,主要有:① 串联匹配的换能器系统的最大功率点并不在 f_s 上;② 在小信号下测出的参数值与大信号实际运用值存在差异,这样振动系统很难工作在设计的频率上;③ 它不支持频率跟踪,并且没有考虑系统的效率。在本智能化大功率超声发生器中,采用的是动态匹配模型,图 4 给出了其实验系统框图。

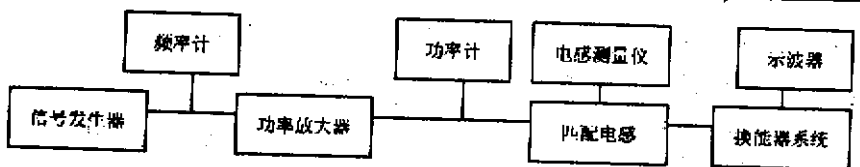


图 4 动态匹配实验系统框图

按图 4 所示的实验方法, 分析了基于换能器系统与换能器前面的变幅杆浸入水中, 由端头溅起水柱的匹配电感耦合振荡基础上的动态匹配问题。将接在射程来判别振动的强弱, 实验结果见附表。

表 1 某压电换能器的动态匹配实验数据

工作区间	工作点	匹配电感(μH)	f/Hz	匹配电感发热情况
ω_1	1	5.8	24212	微热
	2	5.3	24254	较热
	3	4.8	24312	较热
	4	4.3	24370	发烫
ω_{II}	1	3.5	24879	发烫
	2	3.0	24996	较热
	3	2.5	24054	微温
ω_{III}	1	5.8	24200	微温
	2	4.8	24182	微温
	3	3.9	24163	微温
	4	3.0	24142	微温
	5	2.0	24132	微温

表 1 中 ω_1 、 ω_{II} 、 ω_{III} 是通过解匹配电感与换能器构成的耦合回路的电路方程得出的。从物理意义上说, ω_1 、 ω_{II} 、 ω_{III} 代表耦合回路的谐振频率, 称为耦合频率。通常 ω_1 大于初次级回路的两个自然频率, ω_{II} 小于两个自然频率, 即使两个自然频率相等, 两个耦合频率也不重合, 这就是在通常匹配调节时会遇到一高一低两个谐振点的原因。 ω_{III} 是一些很小的谐振点, 当初级回路的自然频率趋于无限大时, ω_{III} 将趋于换能器的反共振频率, 而 ω_1 趋于共振频率。

分析实验结果可知: ① 若系统工作在耦合频率附近, 则其效率较高; ② 虽然在 ω_{III} 上效率最高, 但需要的激励电压也高, 电流波形较差; ③ 从滤波的角度讲, 匹配电感越小, 系统的品质因数越低, 滤波效果差, 换能器的电流波形有明显失真。因此, 在保证一定效率的前提下, 选择合适的工作点, 并使用较大的匹配电感为佳。

4 系统软件设计

软件设计的目标是使振动系统在设定的工作频率范围内输出恒定的功率。以振动系统的输出功率与频率呈单调变化为依据, 通过功率对频率变化的判断不断调整其工作频率, 由从 A/D536A 获取的功率增大或减小的趋来决定 Δf 的修正方向, 其整体软件设计流程图如图 5 所示。

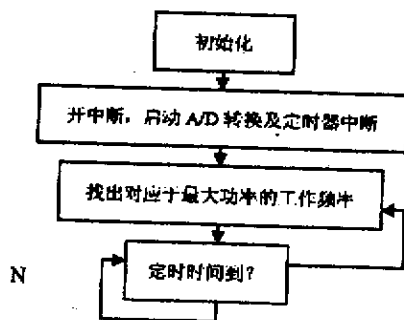


图 5 系统软件设计流程图

因在预选频段中功率-频率及频率-工作时间曲

线有较复杂的规律,所以在系统开始及每工作一段时间后,无条件上下寻找最佳工作点,然后调整振动系统的工作频率,使其能高效率地输出额定功率。

5 结束语

本仪器在波形发生、功率放大、频率跟踪等方面有很好的效果,主要表现为:波形稳定可靠;输出功率恒定;实时跟踪能力强。如果在动态阻抗匹配方面

获得更为可靠的方法,则在提高系统效率方面会有所突破,其应用前景将不可估量。

参 考 文 献

- [1] 顾煜炯。超声振动系统的研究及系列超声手术刀的研制:[博士学位论文][D]。北京:清华大学,1996
- [2] 刘丽华。大功率超声发生器的研制及超声乳化的实验研究:[硕士学位论文][D]。北京:华北电力大学(北京),2000

作者简介:

刘丽华(1975-)女,2000年毕业于华北电力大学(北京)动能工程系,获工学硕士学位。现为华北电力大学(北京)助理工程师。地址:北京市德外朱辛庄,邮编:102206

顾煜炯(1968-)男,1996年毕业于清华大学精密仪器系,获工学博士学位。现为华北电力大学副教授,状态监测与故障诊断部级重点实验室常务副主任,中国仪器仪表学会青年工作委员会副秘书长。已发表论文30余篇,获部委级科技进步奖3项。地址:北京市德外朱辛庄,邮编:102206

杨昆(1957-)男,1992年毕业于华北电力学院北京研究生部,获工学博士学位。现为华北电力大学副校长、教授、博士生导师,状态监测与故障诊断部级重点实验室主任。已发表论文50余篇,获部委级科技进步奖2项。地址:北京市德外朱辛庄,邮编:102206