

CXF-1 型功率超声波发生器的研制

李月花

(华南理工大学轻化所 广州 510641)

1995 年 9 月 26 日收到

摘要 本文详细地介绍了为蔗糖结晶而研制的一种可调式的功率超声波发生器. 对该电路的工作原理和设计进行了讨论. 并对研制结果作了些分析.

关键词 超声波发生器, 集成电路, 压电超声换能器

Development of CXF-1 ultrasonic generator

Li Yuehua

(Res. Inst. of Light Ind. & Chem. Eng., South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641)

Abstract In the Paper, is described an adjustable ultrasonic generator which has been designed for sucrose crystallization and is attached with an electrical power output monitor. The principle and design of the electronic circuit are analyzed.

Key words Ultrasonic generator, IC, Piezoelectric ultrasonic transducer.

在工业结晶的方法中, 用声场结晶成核方法是一新的结晶手段, 国内外都在进行了积极的研究. 多年来, 我们在超声波对蔗糖溶液结晶成核过程的研究工作中^[1], 迫切需要一种功率, 频率均可调的、稳定可靠的实用超声设备. 无论是用于实验室, 还是用于工业生产, 都有需要. 纵观国内生产的超声清洗设备, 其频率都是固定不变的, 输出阻抗也是固定, 所配接的换能器也是固定于机器内部而不可随意移动的. 这些功率和频率的单一和不可调性, 不符合我们的实验条件要求. 因此我们自行设计, 试制了一种频率、功率均可连续调节的超声波发生器.

1 设备的性能、指标及特点

根据设备的职能, 发生器的主要技术指标

是: 输出功率: 50 W—1000 W(最大额定输出功率 1 kw, 高频时不低于 900 w)

连续波工作频率: 1 kHz—32 kHz, 分五个波段.

脉冲调制宽度:

工作时间: 50 ms, 100 ms, 300 ms, 700 ms, 1 s, 1.6 s

间歇时间: 500 ms, 1 s, 3 s, 7 s, 10 s, 16 s

工作方式: 无调制和有调制两种, 即正弦波输出和脉冲调制波输出.

为适应超声处理技术在制糖工业结晶中的实际应用, 结合现有器件和线路技术水平, 本机有源器件全部使用晶体管和集成块, 整机供

* 国家自然科学基金资助项目.

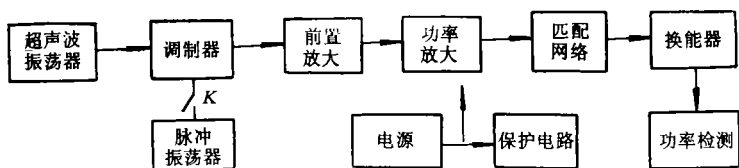


图1 电路原理方框图

电低压部分采用集成稳压源, 高压部分采用开关型稳压源. 具有多种自动保护装置. 面板上设置有所需的各种调节旋钮、输出级电流指示电表和输出功率表.

2 电路构成与工作原理

电路框图如图1.

由超声波振荡器产生的连续正弦波和脉冲振荡器产生的脉冲波, 可以单独也可同时加入调制器; 单独加入时, 调制器的输出为正弦波信号, 同时加入时调制器的输出为脉冲调制波. 其波形如图2.

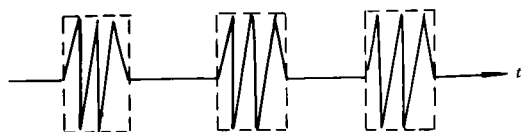


图2 脉冲调制波

2.1 振荡器到前置放大部分

这部分的电路如图3所示, 由四个主要集成块及其外围元件构成. 其中 IC_{1-1} 及 RC 文氏电桥构成正弦波振荡器^[2]. 当运算放大器具有理想特性时, 振荡条件主要由两个反馈回路的参数决定. 电路频率的改变采取对正反馈网络中的串并电阻、电容按比例进行同步调节. 这样在改变振荡频率时不致破坏振荡条件. 振荡器的输出幅度自动调节电路中, 场效应管 T 作为可变电阻. 为确保 T 管工作在它的线性电阻区, T 与 W_{1-2} , R_1 组成负反馈电路的反馈电阻. C 、 D 和 R_{1-5} 、 R_3 组成整流滤波, 将振荡器的输出电压取样, 变换成与信号振幅成正比的负极性直流控制电压, 加入 T 管的栅极. 同时正确选择滤波电路的时间常数, 自动稳幅电路的响应速度就快, 电路的波形失真和稳幅作用都较好.

脉冲发生器由 IC_{1-6} 、电阻、二极管组成.

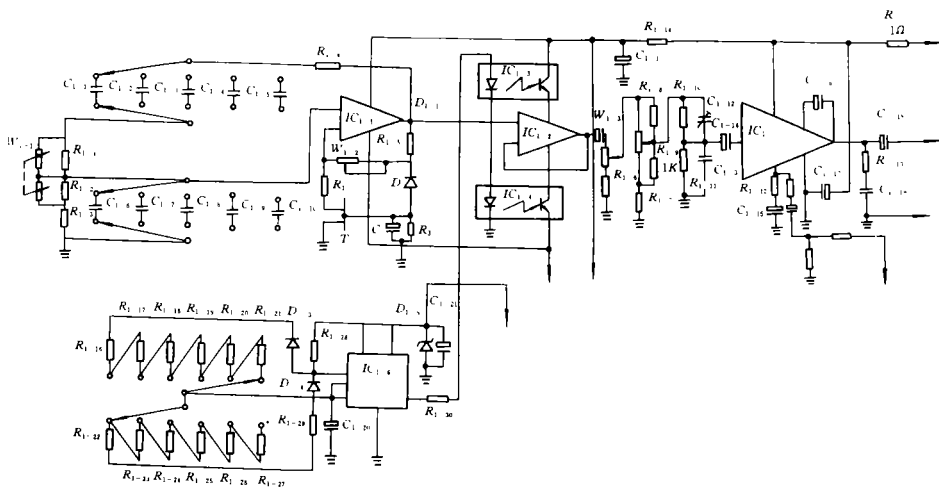


图3 振荡器到前置放大部分

电路的振荡频率、占空系数不受电源变动的影响, 仅与外接元件 R_{1-28} 、 R_{1-29} 有关. 为了独立的改变占空系数而不影响振荡频率, 加入 D_{1-3} 、 D_{1-4} 做充放电导引管, 使充放电通路独立. 实际工作中改变 $R_{1-16} \sim R_{1-27}$ 的组合, 就可获得间歇时间为 500 ms~16 s, 工作时间为 50 ms~1.6 s 两者组合的 36 种不同的脉冲波形.

光电耦合器 4N30 (IC_{1-3} 、 IC_{1-4}) 担当开关 K 作用, 实现两种工作方式的转换, IC_{1-5} 为前置放大.

2.2 末级功放及输出匹配网络

具体电路如图 4 所示.

为获得大功率, 利用功率合成技术, 选用大功率管进行功率合成, 串并联组合应用. 两

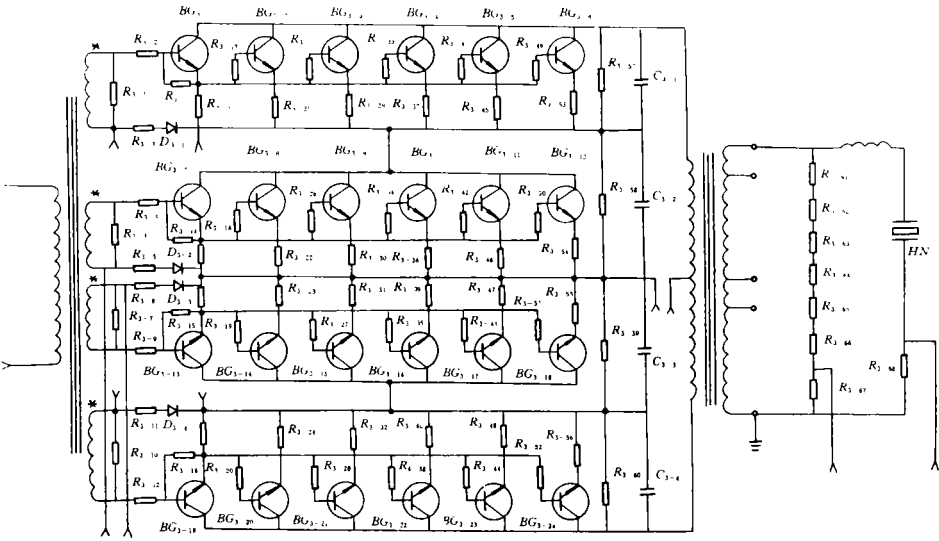


图 4 末级功放及输出匹配网络

两组合互补配对构成乙类放大电路, 最后通过输出变压器的合成, 在负载上得到总功率. 因此可在安全工作条件下提高放大器的输出功率, 达到设计指标. 同时管耗小, 提高了整机的效率.

输出匹配技术在此也是至关重要的问题. 它包括调谐和阻抗变换两个方面. 作为负载的压电晶片换能器是容性高阻器件. 其阻抗变化从几个欧姆到几百欧姆, 这使换能器的传输功率变化范围很大. 而换能器的损耗基本上保持不变, 其效率性能主要取决于输出网络与其阻抗匹配程度. 采用变压器输出形式可以配接不同频率, 不同阻抗的换能器. 再者由于发生器的频率覆盖范围大, 即要求在 1 kHz~32 kHz 范围内, 输出功率都要满足要求, 因此输出回路不可能采用谐振回路形式. 变压器采用普通

铁芯及特殊的工艺绕制而成. 在机器的后板上配有多孔输出电缆插座, 以便根据需要调换所使用的探头.

2.3 电功率检测电路

目前国产超声波仪器大都没有电功率检测电路. 本设备有如图 5 所示的电功率检测电路^[3]. 由乘法器、低通滤波器、电表组成. 基本工作原理简述如下: 设来自换能器上的电压信号和电流信号分别为: $V_m \cdot \sin \omega t$ 和 $I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, 把它们送入乘法器的两个输入端, 则乘法器输出的瞬时功率为: $p'(t) = K \cdot V_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = K/2 \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi + K/2 \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$, 再经过低通滤波器后, 二次谐波被除掉, 输出为: $p(t) = K/2 \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi$, K 是乘法器的增益系数. 输出正比于输入电压、电流的振幅,

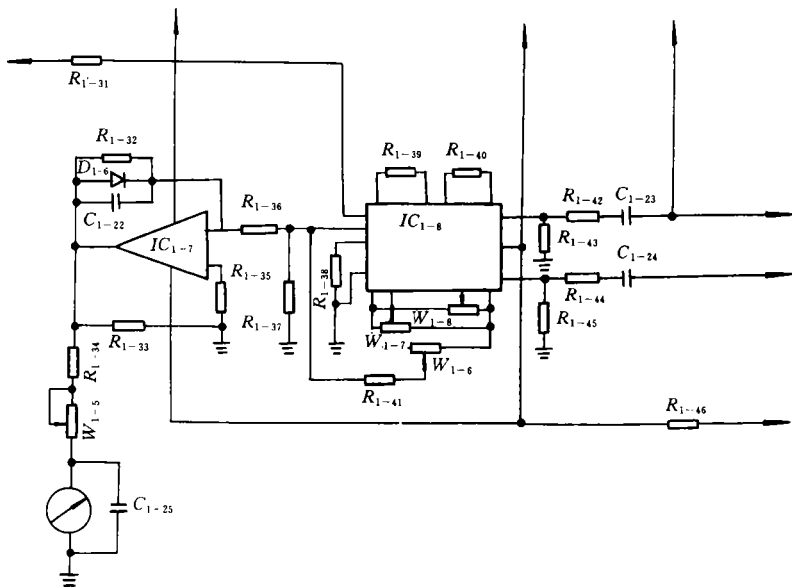


图5 功率检测电路

同时也与两者之间的相位差有关. φ 越小, $p(t)$ 越大.

测量的功率范围是 $0 \sim 1000 \text{ w}$, 本功率检测电路用于指示本机输出的有功功率数值. 该值只在输出连续波时才是准确的. 它不能指示窄脉冲调制时的脉冲功率.

3 应用情况

主要配接压电晶体换能器. 实验室配有几种功率、谐振频率、阻抗均不同而且形状大小不一的换能器. 其中最大的功率是 1000 w 、谐振频率 6.5 kHz 、谐振频率上的阻抗为 $300 \Omega \pm 10\%$. 工作时换能器部分置于要处理的溶液中. 根据需要, 变幅杆设计成阶梯形. 这种声变幅杆浸入式的声化学反应处理系统能有效地把超声能量传送到处理液体中. 经过几年来的实验应用^[4], 结果表明, 本机的频率稳定、可调范围宽; 发射频率与脉冲宽度均可调节. 功率输出基本上达到要求. 本设备不仅为在制糖工业结晶中寻求最佳结晶状态时的超声波的频率提供了方便、实用的装置, 而且也可用于其他超声处理技术中, 为其提供非常方便的实验条件. 如声场对花粉细胞破壁技术的研究^[5]、声场对传热设备除垢作用的研究^[6].

实践应用表明, 本机在纯阻负载情况下, 工作正常, 完全符合设计时提出的技术指标. 但配接换能器功率难以升至 1000 w . 本机在功率输出较大时, 功率有所下降. 此时换能器温升快而不能使其工作时间加长; 也影响整机无法正常工作. 其主要原因是功率增加时, 换能器的等效阻抗无法与发生器很好地匹配. 解决上述问题的设想方案有: (1) 换能器频带做得宽些, 以便工作中保持谐振状态, 解决失配问题. (2) 可以用一台发射机同时接几个换能器来提高对液体的处理速度. (3) 对设备在线路上增加自动调节功能, 即实现频率自动跟踪和功率自动调整这两项功能.

参 考 文 献

- [1] 丘泰球, 宋武明, 黄敏等, 应用声学, 1989, 8(3): 33—37.
- [2] 孔有林. 集成运算放大及其应用, 第一版. 北京: 人民邮电出版社, 1988. 384—388.
- [3] 周子文. 模拟相乘器及其应用, 第一版. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [4] 丘泰球, 李月花, 陈树功. 甘蔗糖业, 1993, (1): 30—38
- [5] 丘泰球, 潘莎莎, 李月花等. 华南理工大学学报(自然科学版), 1995, 23(2): 115—119.
- [6] 李月花, 丘泰球, 朱洪宏. 声学技术, 1992, 11(4): 29—31.