

同时使电路的灵敏度下降。因此, R_2 的选择要在上述三方面进行权衡。

采用并联谐振的方法,我们对英国 Cogent Inspection 公司生产的 IFS 500 型 PVDF 探头进行了电路匹配,所得系统的冲激响应如图 6 所示,系统的传递函数如图 7 所示。经过匹配后所获得的探头中心频率为 12MHz, 频带宽度为 10MHz。

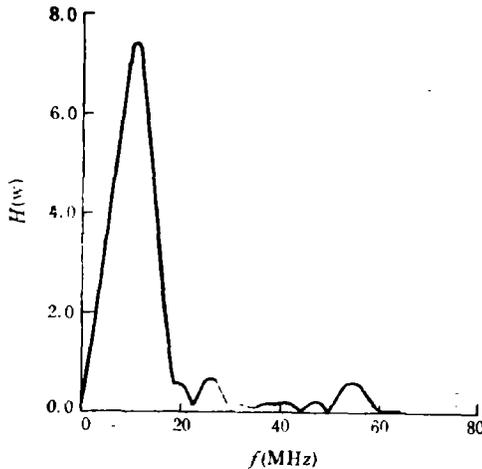


图 7 探头的频率响应

我们采用这一 IFS500 型 PVDF 探头与我们的发射与接收匹配电路一起组成了一个高频声阻抗成像系统,结合我们建立的声阻抗重建算法^[1],使系统的分辨率达 $66\mu\text{m}$ 。这样高的纵向分辨率已基本达到眼科及皮肤科应用的要求。当然,要真正用于临床,还需进一步完善。

本文工作得到清华大学诸国帧教授和科学院声学所牛凤歧老师的指导和帮助,在此表示衷心谢意。

本文工作是在国家自然科学基金资助下完成的。

参 考 文 献

- [1] James E. Crouch, Functional Human Anatomy, Lea & Febiger, Philadelphia, 1985, 74—84. ;
- [2] Douglas A. Christensen, Ultrasonic Bioinstrumentation, John Wiley and Sons, New York, 1988, 69—118.
- [3] Sherar M. D. and Foster F. S., Ultrasonic Imaging, 11 (1989), 75—94.
- [4] M. O' Donnell, Busse L. J. and Miller J. G., Methods of Experimental physics, Vol. 19, Academic press, New York, 1981, 30—62.
- [5] Bai J. and Qi W., Proc. of 12th Ann. Conf. of IEEE/EMBS, 1 (1990), 283—285.
- [6] Coates R. and Mathams R. F., Ultrasonics, 23 (1988) 59—64.

超声设备输出变压器的研究

任金莲 王志刚 牛勇

陕西师大应用声学研究所

1990年11月5日收到

本文论述我们在研制 250W 超声设备过程中,对输出变压器的性能,磁芯材料的选择及防止瞬态磁饱和等方面的研究和探讨。

一、引 言

超声设备输出变压器是超声源的关键部件,它不象电源变压器那样只考虑本身的效率、发热等,也不象脉冲变压器那样只要不失真地

传递原边的脉冲波形。输出变压器的主要作用是电压变换、功率传递和实现输入与输出间的隔离以及阻抗匹配等。它性能的优劣就不只涉及本身的效率、发热等,还将左右整个设备的技术性能,甚至会影响功放管的寿命。本文介绍我们在研制 250W 超声波打孔机过程中,对输出

变压器性能的初步探讨及防止瞬态磁饱和所采取的措施。

二、磁芯材料的选择

功率超声设备一般工作在 16kHz—40kHz 之间,而且,变压器的负载为复数阻抗。设备在谐振与失谐、匹配与失配情况下,变压器输出回路中的各参量(主要是 V_i 、 I_i) 相差很大,所以这就要求磁芯材料在该频率范围内能量损耗要尽可能的小,也就是涡流损耗、磁滞损耗和剩余损耗要尽可能的小;饱和磁通密度要高;温度特性要好等。其中涡流损耗至关重要。变压器涡流损耗 W_c 及涡流损耗因子 $\text{tg} \delta$ 分别为(1)、(2)式所示^[1]:

$$W_c = n \cdot \pi \mu \mu_0 H_0^2 \text{tg} \delta \quad (1)$$

$$\text{tg} \delta = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu \mu_0 d^2}{P} \cdot W = \frac{2}{3} \frac{W}{W_c} \quad (2)$$

两式中 μ 为材料的磁导率,

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$$

为真空磁导率, H_0 为材料薄片面上磁场的振幅, P 为电阻率, d 为一薄片材料的厚度, n 为变压器的薄片数。 $W_c = \frac{\rho}{\mu \mu_0 d^2}$ 定义为临界频率,

其意义是表示材料涡流损耗的情况。当 $W \ll W_c$ 时,涡流损耗因子 $\text{tg} \delta \ll 1$, 涡流损耗很小,而当 $W > W_c$ 时,涡流损耗就很大,导致变压器发烫,性能急剧变坏,甚至会烧坏线包。从(2)式看出,在材料规格已选定和工作频率一定的情况下,涡流损耗与材料的电阻率成反比。硅钢片铁芯的饱和磁通密度很大(一般在 $18000 \times 10^{-4} \text{G}$ 左右),但电阻率很低(一般为 $10^{-7} - 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$),所以不适用于高频使用。虽然铁氧体磁芯的饱和磁通密度不高(约 $4000 \times 10^{-4} \text{G}$),居里点仅 120°C 左右,机械性能脆弱易碎,但它的电阻率比硅钢片要大百万倍(一般为 $10 - 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$),因而有非常小的高频涡流损耗,且价格便宜。选取较大体积的磁芯,可得到小的工作磁通密度,从而减小了励磁电流,提高效率,降低温度。

三、瞬态磁饱和及防止

大功率超声设备大多采用桥式功放,如图 1 所示,在基极激励信号的作用下两桥交替通断。变压器 T_1 在电路平衡和不平衡状态下初级 N_1 上电压和磁通的波形如图 2 所示。 T_1 上施加的电压 u 和工作磁通 ϕ 的关系为:

$$u = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

当电压 u 是常数时,磁通 ϕ 与功率管导通的时间 t 成正比。电路在图 2(a) 所示的平衡状态,磁通从最大值 $+\phi$ 经零到达最小值 $-\phi$ 或相反,在共同休止期,磁通的变化率为零,即磁通保持方波结束时的磁通数值。而在图 2(b)、(c) 所示的不平衡状态,磁通在一个周期终了不能

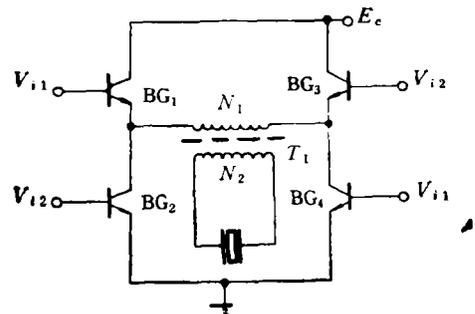


图 1 桥式功放原理

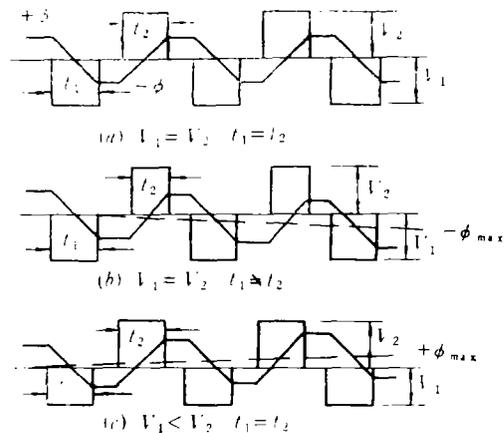


图 2 电路在平衡和不平衡状态下绕组电压和磁通波形

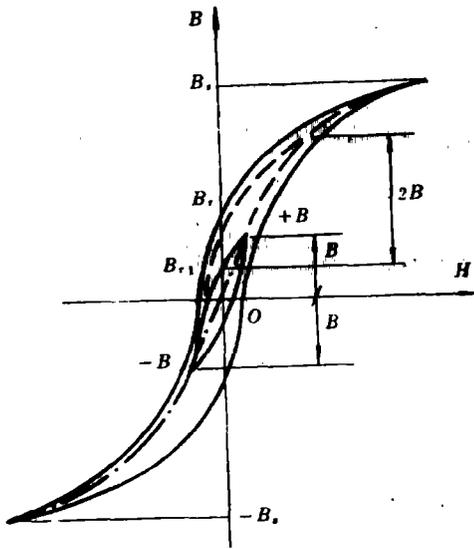


图3 铁芯的工作磁滞迴线

返回到起始点,而在一个方向将逐渐增大,产生磁偏,使磁通的工作区域偏向某一个象限,从而引起磁芯的瞬态饱和以导致功率管的损坏。

变压器铁芯的工作磁滞迴线如图3所示,其中过原点的是基本磁化曲线, B_s 为饱和磁通密度, B_r 为剩余磁通密度, B 为工作磁通密度, B_{r1} 为对应于工作磁通密度 B 的剩余磁通密度。稳态时,工作磁滞迴线为图中以 $+B$ 和 $-B$ 为顶点的对称小回环。开机瞬间,若没有剩余磁通 B_{r1} 存在,由图2知,磁通密度将从原点沿基本磁化曲线上升到 $2B$ 处,即开机瞬间最大磁通密度为稳态时的2倍,然后回到工作小回环。若有 B_{r1} 存在,磁通将从 B_{r1} 处开始沿虚线方向上升,使第一个半周磁通密度的幅值达 $2B + B_{r1}$,即发生瞬态磁饱和。以上两种磁饱和形式都将意味着变压器 T_1 的励磁电流急剧增加,导致功放管承受极大的电流电压而损坏。为了有效地防止瞬态磁饱和,我们采用了以下三种方法。

1. 电路平衡法

由图2知,功率管导通时间与输出脉冲幅

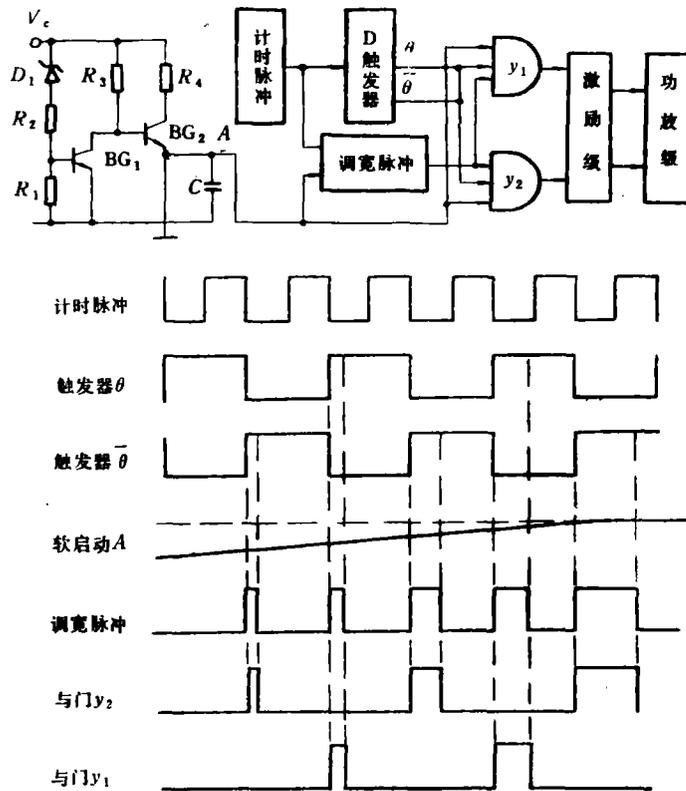


图4 软启动原理及波形

度的不一致,都将引起磁偏,这主要是由功率管开关特性的不一致,尤其是各管子的存储时间 t_s 、饱和压降 V_{CES} 、放大倍数 β 的差异和电路的不对称性,都将导致施加在高频变压器 T_1 初级绕组 N_1 上两个半周期内的“伏-秒”数不一致,从而引起单向磁偏。因此,对桥路及激励回路中各元件参数都要选择配对,特别对管子的 t_s 、 V_{CES} 、 β 要用晶体管图示仪进行严格测试配对。因为即便是同一型号的管子,它们的特性曲线及各种参数相差很大。除此之外,还可设置专门的平衡电路以克服电路的不平衡。

2. 软启动

从(2)式知,在同样的输入电压条件下,磁通和施加方波电压半周的持续时间成正比,若设法在电源启动时使激励级的输出脉宽由零逐渐增大到额定值,则可有效地防止瞬态磁饱和。我们采用的原理及脉冲波形如图4所示。在启动电源时,电源 V_c 等于零,当 V_c 刚开始上升时, BG_1 因通过电阻 R_1 接地而截止, BG_2 因通 R_3 接 V_c 而导通,此时电容 C 处于放电状态,则 A 点的电压近似等于零。从而导致脉冲调宽电路和与门电路不能启动,输出为零。而当 V_c 升至某一中间电压,使得齐纳二极管 D_1 导通时, BG_1 开始导通, BG_2 截止,这时电源 V_c 通过电阻 R_4 给电容 C 充电。随着 C 的充电, A 点的直流电平不断增加,从而使调制信号的脉冲宽度逐渐增加,这样就把信号渐渐地加给功放管和输出变压器 T_1 。

3. 选取 $B \leq B_s/3$

由图3B-H曲线可见,只要在剩余磁通密

度 B_{r1} 和饱和磁通密度 B_s 之间能容纳两倍的工作磁通密度 B ,则高频变压器 T_1 在合闸瞬间将不会发生饱和。因为 B_{r1} 总是小于 B ,所以选工作磁通密度 $B \leq \frac{1}{3} B_s$ 。由于选取了较小的工作磁通密度 B 也减小了励磁电流,降低了磁芯损耗,对提高效率,降低温升有利,但要以增大变压器铁芯的体积为代价。

四、导线的选择和绕制

由于变压器 T_1 工作于高频,在选择导线时除了根据功率确定导线截面以外,还需要考虑由于趋肤效应引起有效截面积的减小,以防变压器内耗增加而发热。因此,一般还可用小直径的多股线并绕或扁铜带。在绕制时,需要特别注意分布参数给予的影响。对于漏感引起的电压尖峰若超过功率管所能承受的最大电压时,也将导致功率管被击穿而损坏。所以,对漏感和分布电容要综合考虑,为了有效的降低分布参量,变压器层间应尽可能的紧密耦合,匝间要均匀分布,过桥引线要套上套管引出,各层间最好用聚脂薄膜作高度绝缘,以防止层间击穿而烧坏变压器。

参 考 文 献

- [1] 北京大学物理系《铁磁学》编写组,铁磁学,科学出版社出版,1976,210—220
- [2] 徐德高 金刚,脉宽调制变换器型稳压电源,科学出版社出版,1983,

(上接第46页)

文中导出了传感器灵敏度和响应时间的理论表达式。据作者的保守估算,本装置的可分辨流量变化接近 $0.05\text{cm}^3/\text{min}$;对阶跃式流量变化,暂态响应时间约为 20s 。

文中指出,应用在薄膜内传播的超声兰姆波,可实

现较声表面波传感器响应更快的流量传感器。

(刘献铎 摘译自 *IEEE Trans. UFFC.*, 38-2(1991), 148—154.)