

# 一种实用的频率跟踪方法

陆庆阳

(中国科学院东海研究站)

本文介绍一种实用的频率跟踪方法,其方框图如图1所示。它由带通预选滤波器、限幅放大器、推动放大器、功率放大器、匹配网络、超声换能器以及取样电阻组成闭环式自振跟踪系统。其简单工作原理是将换能器的电流取样反馈到系统的输入端,经预选滤

波器(其带宽大于换能器的工作带宽)将跟踪范围以外的谐波滤掉,经限幅放大,推动放大,功率放大再去激励超声换能器。当换能器的共振频率改变时,系统的自振工作频率也随之改变,从而使系统保持较为良好的工作状态。

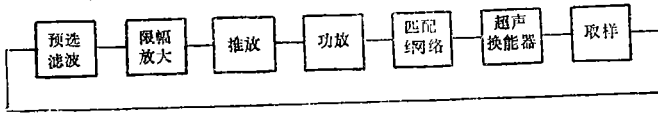


图1 一种频率跟踪方法

采用这种方法应当注意:

1. 起振之后,换能器必须处于良好的匹配状态,即取样电阻取样的电压波形必须与功放电路输出端电压波形同相。
2. 为了保证振荡条件,必须保持输入端和功放输出端相位一致。
3. 预选滤波器的带宽必须大于换能器的工作带宽。

实践证明,只要满足上述条件,这种频率跟踪系统一般能稳定地工作。但人们常常担心激励部分的附加相移(如预选滤波器的附加相移、放大器的附加相移等)和换能器加载等原因有可能导致跟踪失败。理论推算及实验证明这种担心是不必要的。现在分别讨论如下:

(1) 附加相移的影响:

设初始起振时,系统处于最佳匹配并且跟踪良好,系统的输入端与输出端之间无相

移。匹配网络将换能器的阻抗转换成一个纯电阻负载接在功率放大器的输出端。匹配网络如图2所示。

根据图2,令  $Z_1 = R_1 + jx = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1})$ ,  $Z_2 = -jxc_3$ ,  $Z_3 = jx_L$ , 则

$$Z = Z_3 + Z_1 // Z_2 = R + jX \quad (1)$$

$$\text{传输系数 } K = \frac{r}{Z + r} \quad (2)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{X}{R + r} \quad (3)$$

由于  $\omega$  在  $\omega_0$  (换能器共振角频率) 附近,一般满足近似条件:

$$(1) X_{C3} \gg x$$

$$(2) r \ll R_1 \quad (r \text{ 可自取})$$

$$(3) \frac{rR_1}{X^2 c_3} \ll 1$$

可以求得

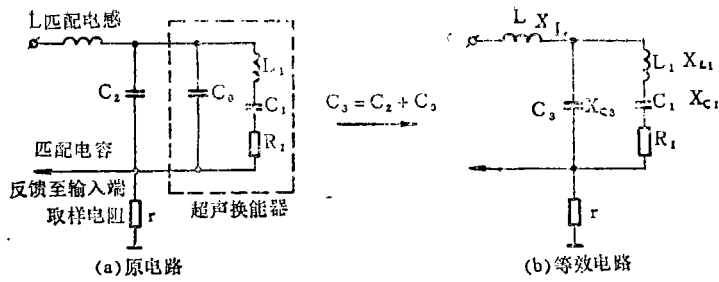


图2 匹配网络

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-x}{R_1} \quad (4)$$

$$\Delta\varphi = -2Q \frac{\Delta f}{f_0} \quad (5)$$

式中 $Q$ 是换能器的等效品质因数。

在本方法实验中,  $R_1 = 103.2 \Omega$   $C_0 = 6180 \text{P}$   $f_0 = 15.135 \text{KHz}$   $Q = 500$   $L = 542.35 \mu\text{H}$   $C_2 = 0.0982 \mu\text{F}$

$C_3 = C_0 + C_2 = 0.1051 \mu\text{F}$   $r = 0.51 \Omega$  经验证满足近似条件, 公式(4)和(5)可以采用。若取  $\Delta f = 1 \text{Hz}$ , 则由公式(5)可以反推  $\Delta\varphi = -3.82^\circ$ , 即附加相移变化  $3.82^\circ$ , 引起频漂  $1 \text{Hz}$ 。可见激励部分微小的附加相移, 对频率跟踪影响不大。

### (2) 换能器加载的影响:

换能器加载以后, 其共振频率也随之变化, 在本方法实验中, 加载后的起始频漂为  $-200 \text{Hz}$ , 达到稳态后频漂为  $-50 \text{Hz}$ 。因  $\omega$  在  $\omega_0$  附近, 可以推证预选滤波器的附加相移为

$$\Delta\varphi = -2Q_w \frac{\Delta f}{f_0} \quad (6)$$

式中 $Q_w$ 为单迴路预选滤波器的品质因素。单迴滤波器的电路如图3所示。

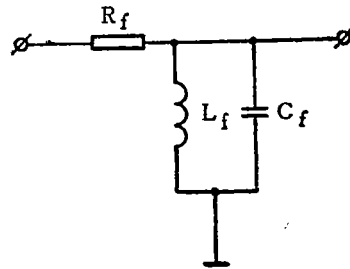


图3 预选滤波器

本方法实验中,  $\Delta f = -50 \text{Hz}$ ,  $f_0 = 15.135 \text{KHz}$ , 选  $Q_w = 10$ , 则  $\Delta\varphi = 3.8^\circ$ 。由此可见, 换能器加载后, 系统仍能实现良好的跟踪。

有一点值得提及的是本方法推证中忽略了由匹配电感和匹配电容所引起的附加相移, 因为它在影响跟踪方面不起重要作用。

本文所述的跟踪办法已成功地用于处理油煤混合燃料的大功率声源系统中, 它与逻辑延时激励方案相配合, 使总的电效率达到  $90\%$  以上, 最大输出电功率达  $1200 \text{W}$ 。