

# 声检测仪的前置放大器设计

李 国 志

(长春光学精密机械学院)

**摘要:** 本文介绍了低噪声、高灵敏频带宽的声发射测试仪前置放大器的设计原理,设计方法,并指出参数的选择和指标测定。

## 一、引 言

声发射检测是无损探伤好方法之一,这种检测方法原理简单,易掌握,操作方便,迅速,准确,已经受到各界科学工作者,生产者充分重视。近二十多年,我国声发射技术已有较大发展和提高。

声发射仪是声发射检测探伤的重要工具,它既能确定缺陷或裂纹的位置,大小,又不损伤被测物体。其中前置放大器是该测试仪器的关键部件,要求前置放大器具有低噪声,高灵敏,高输入阻抗,抗干扰能力强等特性,同时要求频带宽,并能提供40分贝或60分贝的增益,前置放大器中插入带通或高通滤波器可提高信噪比。

下面对其工作原理,设计及元件参数选择和指标测定加以介绍。

## 二、声发射检测的基本原理〔1〕

声发射是一种常见的物理现象,在外界条件(如:力、温度等)作用下使材料产生变形或断裂,以弹性波形式释放出应变能的现象,并使之发声。由材料发射出的每一个声信号都包含着反映材料内部或缺陷、性质和状态变化的丰富信息,声发射检测就是接收这些声音信号加以处理,分析和研究,从而推断材料内部的状态变化。声发射检测要在某一频率范围内进行,这一范围称为声发射检测“频率窗口”。其原理图如图1:



图1

## 三、声发射仪前置放大器的设计〔2〕、〔3〕

### 1. 设计基本原则:

(1) 从噪声角度,选择半导体器件及工作点,同时考虑满足信号源阻抗和放大器的噪声

匹配。

- (2) 考虑电路组态, 级联形式及负反馈, 来满足带宽及输入阻抗的要求。
- (3) 考虑电路结构, 避免外来的各种干扰

## 2. 设计的考虑:

据弗里斯公式:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{K_{PA1}} + \frac{F_3 - 1}{K_{PA1} \cdot K_{PA2}} + \dots \quad (1)$$

其中:  $F$ ——总噪声系数

$F_1, F_2$ ——第一级, 第二级电路噪声系数

$K_{PA1}, K_{PA2}$ ——第一级、第二级功率增益

由(1)式知, 当 $K_{PA1}$ 足够大时,  $F = F_1$ , 噪声主要取决第一级, 故为减少噪声主要从第一级、第二级考虑。同时要提高功率增益。第一级采用噪声小输入阻抗高的结型场效应管3DJ7G, 为满足增益可调, 减少噪声, 传感器与放大器间采用直接耦合。第二级用NPN—PNP互补式放大电路。

为满足放大器负载能力, 采用互补式输出级OTL电路。合理选择静态工作点可减少半导体器件噪声及非线性失真。

外界干扰有时严重影响放大器性能, 必须加以消除和抑制。可用滤波、电源去耦, 合理接地, 屏蔽等方法解决。

## 3. 设计各部件功能:

$R_1, R_2, R_3, C_1, C_2, C_3, BG_1, D_1, D_2$ 组成共源自给偏压电路形成输入级。其中 $D_1, D_2$ 构成双向过流保护电路, 防止 $V_{GS}$ 为正值时出现栅流。

$R_2$ 为栅极电阻, 是栅源间直流通路, 使栅极上有栅压。 $R_2$ 还有限流作用, 为使放大器输入阻抗高并且当温度变化时,  $V_{GTS}$ 变化小, 取较大的 $R_2$ 值 ( $1M\Omega$ )。

$R_4$ 为漏极电阻, 决定工作点 $I_D$ , 将电流转变为 $V_D$ 直接影响放大倍数。当被测变化信号加入输入回路后, 引起漏极电流变化, 输出电压可增加许多倍。

由 $R_7 \sim R_{14}, BG_3, BG_2, C_8 \sim C_{10}$ 组成了分压式互补型NPN—PNP放大电路。其中 $R_7, K_8$ 值较大,  $I_B$ 较小。温度变化时,  $I_B$ 精度对 $V_B$ 影响不大, 可认为 $V_B$ 恒定。 $R_{13}, R_{14}$ 组成电压串联负反馈。当 $R_{13}$ 与 $R_{14}$ 并联时, 输出电压比只有 $R_{13}$ 时大, 可控制输出电压大小。该电路输入阻抗高, 增益大。且可实现从100—1000倍的增益变化。通过 $R_{13}$ 阻值变化改变了增益, 适于对不同材料声发射检测的需要。其电路为共射组态, 噪声小。

$R_{15} \sim R_{18}, C_{13}, C_{14}, D_3, D_4, BG_5, BG_6$ 组成互补式输出级, 互补输出电路具有输出阻抗低, 负载能力强, 且效率高 (达78.6%), 频率响应好, 易用深负反馈来减少非线性失真。其中 $D_3, D_4$ 使 $BG_4, BG_5$ 获适当偏置电压, 并减少变越失真。调节偏流电阻 $R_{15}, R_{17}$ 使发射极输出电位为 $E/2$ 再调节 $R_{16}$ 使变越失真消失。

前置放大器原理如图示。

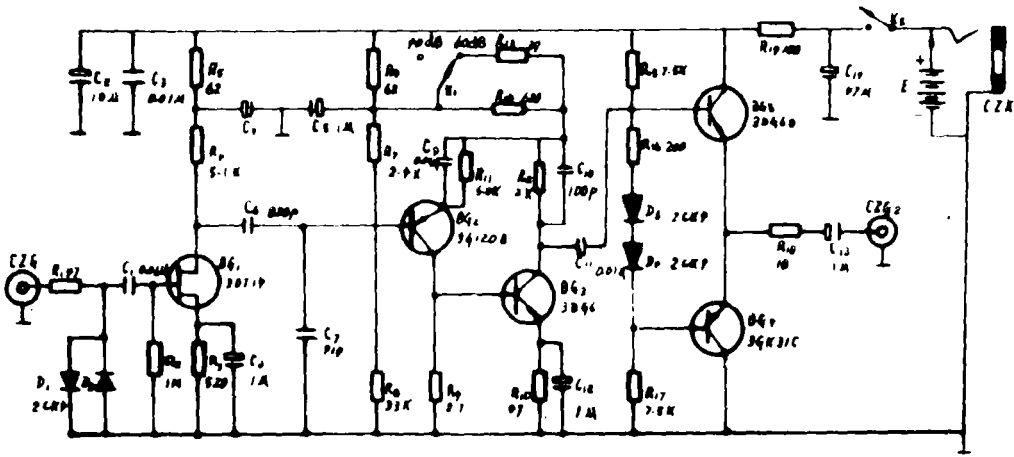


图2 前置放大器原理图

## 四、元件参数的选择及指标测定

### (一) 元件参数的选择:

#### 1. 输入级: 3DJ7D

$$I_{DQ} = 2\text{mA}; U_{GS} = 1\text{V}$$

$$U_{R_4} = 10\text{V}; R_2 = 1\text{M}\Omega$$

$$R_3 = \frac{U_{GS}}{I_{DQ}} = \frac{1\text{V}}{2\text{mA}} = 500\Omega, \text{ 取为 } 520\Omega$$

$$R_4 = \frac{U_{R_4}}{I_{DQ}} = \frac{10\text{V}}{2\text{mA}} = 5\text{k}\Omega, \text{ 取为 } 5.1\text{k}\Omega$$

$$V_{DS} = 15 - 2(5.1 + 0.5) = 3.8\text{V}$$

#### 2. 中间级: 3G120B, 3DG6

$$I_{B_2} = 60\mu\text{A}; I_{B_3} = 0.1\text{mA}$$

$$B_2 = 35; B_3 = 75$$

$$I_{I_2} = B_2 \cdot I_{B_2} = 35 \times 60 = 2.1\text{mA}$$

$$I_{R_7} = 0.3\text{mA}; U_{C_2} = 3\text{V}$$

$$U_{C_3} = 5\text{V}; U_{I_3} = 2.7\text{V}$$

#### 3. 输出级: 3DG6D, 3GK31C

$$\text{选 } R_{15} = R_{17} = 7.5\text{k}\Omega; 2R_{15} = \frac{E - V_{B_4}}{R_{15}} = 1\text{mA}$$

$$I_{R_{17}} = \frac{U_{B_5}}{R_{17}} = \frac{6.5}{7.5} = 0.86\text{mA}$$

$$I_{B_4} = 0.5\text{mA}; I_{B_5} = 0.3\text{mA}$$

$$I_{R_{16}} = 0.5\text{mA}$$

$$R_{16} = \frac{U_{B_4} - U_{B_5} - 2U_{DS}}{I_{R_{16}}} = \frac{1.4 - 2 \times 0.65}{0.5} = 200\Omega$$

取为  $180\Omega$

实测:  $U_{B_4} = 7.4\text{V}; U_{B_5} = 6\text{V}$

## (二) 指标测定:

用数字电压表, 数字频率计, 噪声测试仪测得放大器技术指标如下:

- (1) 输入电压:  $10\mu\text{V}\sim 0.05\text{V}$
- (2) 输入噪声电压:  $<5\mu\text{V}$
- (3) 增益:  $\Delta K_v = 40\text{dB}\sim 60\text{dB}$
- (4) 带宽:  $\Delta f = 40\text{kHz}\sim 500\text{kHz}$

## 五、结 束 语

本电路结构简单, 元件少, 电路也易调整, 工作可靠, 噪声低, 增益高, 是一个有实用价值的电路。用在声发射检测中效果良好。目前, 声发射检测仪由单通道进入了12通道, 32通道, 其测试能力增加了12倍, 32倍。我相信不久将会出现定性测量的全通道声发射检测仪。

### 参 考 文 献

- [1] 袁振民编:《声发射检测》国防工业出版社, P7—9
- [2] 戴逸松编:《电子系统噪声及低噪声设计方法》。吉林人民出版社(P151—P154, P205, P225)
- [3] 金属研究所文集, (声发射译文), 中国科学院金属研究所 P2—3, P47, P56

## Design of the Preamplifiers of Acoustic Emission Instrumentations

Li Guozhi

### Abstract

This paper describes design principles and methods of the preamplifiers of acoustic emission instrumentations. This kind of preamplifier is a low-noise, high sensitivity and wide band amplifier. The paper also points out the selection methods of circuit parameters and the test of the characteristic indexes of the preamplifier.