

用于俄歇电子测量的廉价的锁相放大器

张伯文

(复旦大学物理系)

一、锁相放大器结构及其主要电路

关于锁相放大器的原理可见文献 [1—3]。本文中所述的锁相放大器，简化了结构。它采用换程开关，使振荡器产生二个频率 f_0 和 $f_0/2$ ，分别工作于基频模式和倍频模式，以适用于一次和二次微商的要求。整机有前置放大器、窄带放大器、相敏检波器（由混频器及低通滤波器组成）、振荡器以及移相器等几部分构成。整机总增益为 119dB。现简述如下：

1. 前置放大器

它仅用一只 5G28 场效应管运算放大器。由于一般的反相比例放大器在增益为 100 倍时，输入阻抗不能太高，否则就要用极高阻值的电阻，但是这种电阻有很多缺点。为了既能克服这一弊病，又能得到高的输入阻抗，所以采用了高输入阻抗的反相比例放大器^[4]，它的增益为 40dB。

2. 窄带放大器

它由 FC54A 及双 T 网络构成，该级的增益为 10 dB。中心频率就是锁相放大器的工作频率 $f_0 = 5160$ Hz。它的选择性 $Q = 50$ 。它的输出送至另一级 FC54A，其增益为 20dB。再送至一升压变压器，它能输出两个对称反相的讯号供混频级使用，其增益为 3 dB。该级能输出最大不失真幅度 $V_{pp} 30$ 。总增益为

33dB。

3. 相敏检波器

相敏检波器由混频器和有源低通滤波器组成。混频器采用 3DJ5FB 结型场效应管对管作对称并联式同步检波。混频器的开关方波讯号是由移相器送来的两个高度对称的反相方波，其上升及下降时间均小于 $0.5 \mu s$ 。有源低通滤波器由二级 FC72B 串联而成。FC72B 是低漂移并且稳定性很好的运算放大器。每级的时间常数是可调的，有 30s, 10s, 2s, 1s 和 0.3s。对应的等效噪声带宽为 4.2, 12.5, 42, 125, 125 和 420 mHz。第一级增益为 40 dB，第二级为 6dB。在第一级的同相输入端设置了零位补偿电位器，用来抵消讯号中高电平本底。

4. 振荡器

为了能作基频及倍频模式工作，要求它能输出 $f_0 = 5160$ Hz 及 $f_0/2 = 2580$ Hz 的纯正弦波。它是由 FC54A 组成的 RC 振荡器^[4]，结构简单，波形失真度优于 0.5%。振幅 V_{pp} 在 14V 左右。太大时，波形失真严重；太小，则输出至移相器不能触发 J210，使移相器无法工作。另一路的输出供调制用。

5. 移相器

移相电路采用集成元件 CMOS 电路 J210^[5]，其接线如图 1 所示。它的内部是由许多与非门组成的二只单稳态电路。每一只单稳态电路的第一只与非门为

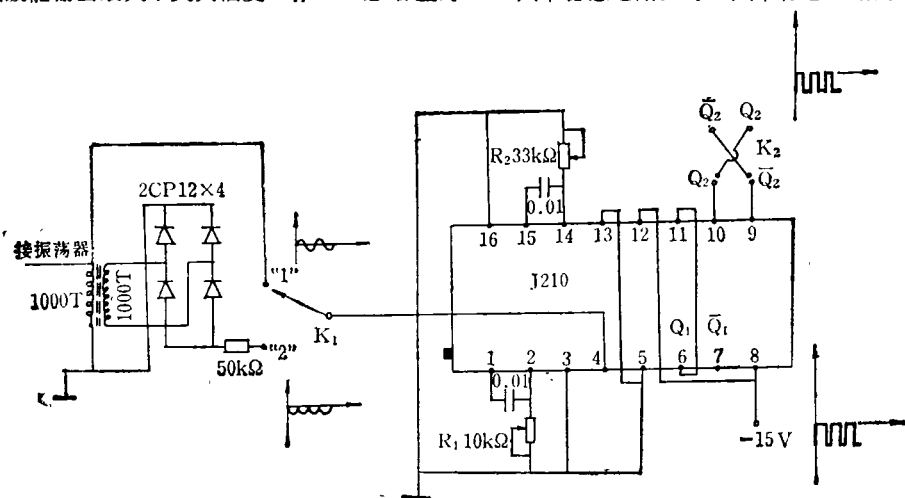


图 1 移相器

整形电路。因此，当任意的波形输入到第一只单稳态时，只要输入周期相同的波形，并能满足与非门的开门和关门电平，则输出的 Q_1 将具有同样周期的不对称方波。根据这一特性，当振荡器在输出倍频 $f_0/2$ 时，经过全波整流后所得半个正弦波，其周期与基频时 f_0 的周期是相同的。所以，不论在基频或在倍频时，由振荡器来的讯号，在触发第一只单稳态后所得到的 Q_1 不对称方波都具有相同的频率 $f_0 = 5160 \text{ Hz}$ 。调节电阻 R_1 ，就是调节不对称度，也就是使后沿进行移相。从理论上讲可移相位在 0° 至 360° 之间。由于使用了反相开关，所以实际上只要 180° 就够了。然后，再用后沿去触发第二只单稳。调节电阻 R_2 ，可得优于 0.1% 对称度的反相对称方波 Q_2 和 \bar{Q}_2 ，该方波的幅值为负 15 V 。上升及下降时间均小于 $0.5 \mu\text{s}$ 。方波波形极好。 K_1 在“1”为基频，在“2”为倍频。 K_2 为倒相开关。

二、锁相放大器用于俄歇电子测量的结果

本文所涉及的工作，仅是把它应用到俄歇电子出现电势谱的检测。关于出现电势谱的原理见文献 [6, 7]。对阴极材料而言，逸出功小，则发射能力大，材料

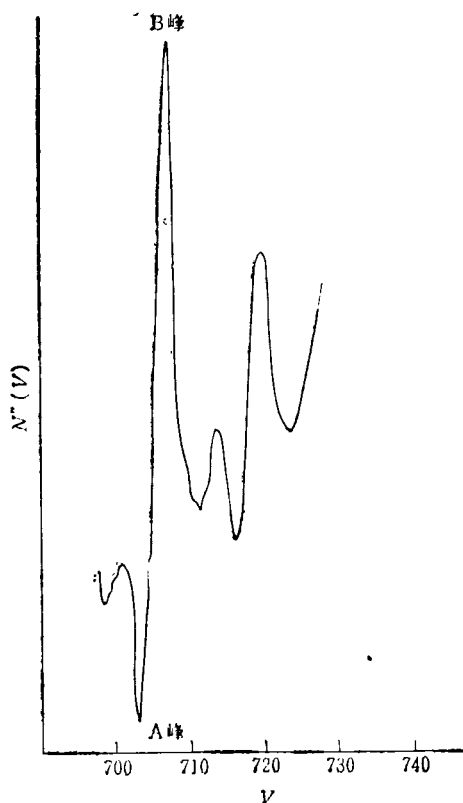


图2 钼阴极对应铁的二次微商

好。逸出功的增大，将使发射明显下降，从而使阴极材

料的寿命结束。因此，迅速测定逸出功，对阴极材料是极为重要的。产生俄歇电子的能量阈值为

$$eV = E_B - e\phi - kT,$$

V 为产生俄歇电子所需的临界电势(即“出现电势”), E_B 为靶的某一芯能级的束缚能, kT 为阴极发射热电子的平均能量, $e\phi$ 为阴极的逸出功。如果靶材料和阴极工作温度不变, 则 E_B 和 kT 不变, 那么当阴极材料改变时, 则 V 的变化反映了阴极材料逸出功的变化, 这就是本实验的理论依据。实验中只要认定某个一次微商或二次微商谱峰, 根据它的漂移, 就可得逸出功的变化。图2是使用钼钨双阴极进行测试, 得钼阴极对

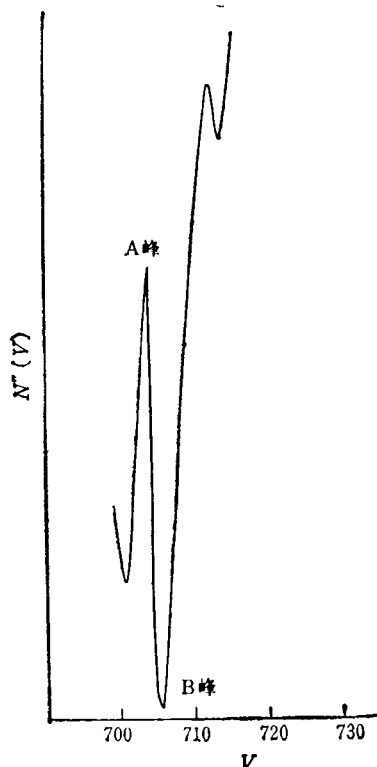


图3 钨阴极对应铁的二次微商

应铁的二次微商。将钼丝两端电压对阴极电位的影响校正后, 得两峰(A和B)位置 702.5 V 和 705.0 V 。图3是使用钼钨双阴极, 得钨阴极对应铁的二次微商。在校正后得两峰位置为 702.2 V 和 704.5 V 。由此得到两个峰的漂移分别为 0.3 V 和 0.5 V , 这两个漂移之间的偏差反映了实验误差(约 0.2 V)。结论是: 钼的逸出功比钨小 $0.3-0.5 \text{ eV}$ 左右。根据钼和钨的逸出功标准值分别为 4.19 eV 和 4.52 eV , 相差 0.33 eV , 所以实验结果与标准值基本符合。这一切都说明测试系统是正常的。

实验测量由学生邵剑心和林青松完成, 在此向他们表示感谢。

(下转第 510 页)