表1　三种方法测量结果

项目 / 结果 / 样品	R_s (kΩ)			R_l (kΩ)			C_d ($10^3\mu$F)		
	恒流	积分	放电	恒流	积分	放电	恒流	积分	放电
C_1	29.00	28.00	28.00		29.40	26.31	9.43	2.37	2.07
C_2	9.80	6.23	6.23		16.81	13.04	22.00	4.36	5.27
C_4	6.50	6.61	6.61		21.91	25.29	51.01	14.50	11.60

参考文献

[1] 薛荣坚,电子世界,11(1981),4.

[2] 村中孝义、森元,電子材料,8(1981),129.

改进 Bessel 函数法激光干涉测振

陈守六　李学志　赵春山　金亨焕

（中国科学院声学研究所）

1983年4月14日收到

一、引　　言

激光干涉法是测量振动的有效方法，它具有精度高、空间分辨率高、与被测物体不接触等优点，故在振动测量上的应用日趋广泛．激光干涉法一般分为外差法及零差法两大类，外差法可测瞬态振动，且能辨别振动位相，但设备较复杂．零差法所需设备简单．

零差法的光电信号，对于大振幅，可用计数器直接记录干涉条纹数的办法，但对光波波长量级或更小的振幅，则需对条纹进行细分，这需用较复杂的专用电子设备．

零差法光电信号处理的另一常用方法是 Bessel 函数法[1]，这类方法的优点是设备简单，但此法不能用于较大振幅的测量．本文提出一个改进的 Bessel 函数法，使它亦能测量大振幅，初步实验表明，它可用来测量大于 1000 Å 的振幅．

二、原　　理

图 1 为测振系统示意图．当被测物体作振幅为 A 的简谐振动时，输出光电流为[1]

$$I = K\left[a + \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} A\cos\omega t + \theta\right)\right], \quad (1)$$

式中 K 为与光电系统有关的常数，ω 为振动角

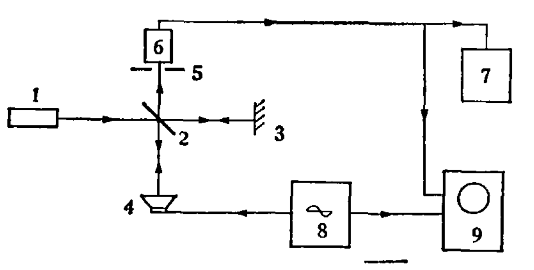

图 1　测振系统示意图

1——激光器；2——分光镜；3——全反镜；4——被测物体；5——光阑；6——光电接收器；7——信号处理器；8——振荡器；9——示波器

频率，$\theta=\frac{4\pi}{\lambda}\Delta L$，$\Delta L$ 为参考光路与测量光路之间的静态光程差，λ 为光波长，a 为常数．略去直流分量，把 (1) 式按 Bessel 函数展开，可得[1]

$$\begin{aligned} I = K\cos\theta & \left[J_0\left(\frac{4\pi}{\lambda}A\right)\right. \\ & \left.-2J_2\left(\frac{4\pi}{\lambda}A\right)\cos 2\omega t+\cdots\right] \\ & -K\sin\theta\times\left[2J_1\left(\frac{4\pi}{\lambda}A\right)\sin\omega t\right. \\ & \left.-2J_3\left(\frac{4\pi}{\lambda}A\right)\sin 3\omega t+\cdots\right]. \end{aligned} \tag{2}$$

(2)式表明，光电流的频谱由振动的基频及其谐波组成．设 P_n 为光电流第 n 次谐波的幅度，即

$$P_n=2KJ_n\left(\frac{4\pi}{\lambda}A\right)\begin{cases}\cos\theta & \text{当 } n \text{ 取偶数} \\ \sin\theta & \text{当 } n \text{ 取奇数}\end{cases} \tag{3}$$

实验上，P_n 容易测定，但常数 K 及 θ 却不易测准，尤其是 θ 还会在测量过程中发生变化，所以一般用二个不同次的谐波幅度之比或某个特殊点(如极大值或零点)来确定振幅 A，这就是一般的 Bessel 函数法所依据的原理[1]．

我们由 Bessel 函数的自递推关系式出发[2]：

$$x=\frac{2nJ_n(x)}{J_{n+1}(x)+J_{n-1}(x)} \quad n=1,2,3,\cdots, \tag{4}$$

$$x=\frac{2(n-1)J_{n-1}(x)}{J_n(x)+J_{n-2}(x)},$$

$$x=\frac{2(n+1)J_{n+1}(x)}{J_{n+2}(x)+J_n(x)},$$

消去 $J_{n-1}(x)$ 及 $J_{n+1}(x)$ 项，即得

$$x=\left[\frac{4n(n^2-1)J_n(x)}{(n+1)J_{n-2}(x)+2nJ_n(x)+(n-1)J_{n+2}(x)}\right]^{\frac{1}{2}}, \tag{5}$$

将(3)式代入(5)式，并注意 $x=\frac{4\pi}{\lambda}A$，就得

$$x=\left[\frac{4n(n^2-1)P_n}{(n+1)P_{n-2}+2nP_n+(n-1)P_{n+2}}\right]^{\frac{1}{2}}, \tag{6}$$

$$A=\frac{\lambda}{4\pi}x.$$

在导出(6)式时，对 x 未作任何限制，因而，理论上，(6)式适用于任何振幅． 由(6)式可知，只要实验上测定了三个相继偶次或奇次谐频的幅度，就可唯一地确定振幅 A．

三、实　　验

实验光路如图 1 所示．实验中所用的信号分析器是 7T08 型信号处理器，振动体是电动式喇叭或驻极体传声器．实验时，给喇叭一定激励电压，然后测量分析其光电流，按 (6) 式计算振幅 A．表 1 为电动喇叭的实验结果，表 2 为传声器的实验结果．作为对照，表中也同时给出了条纹计数法及 J_1/J_3 比法的结果．图 2 照片是激励电压分别为 8 mV、16 mV、32 mV 时的光电流波形（光电流波形下边的慢变化波形为对应的激励电压波形)．

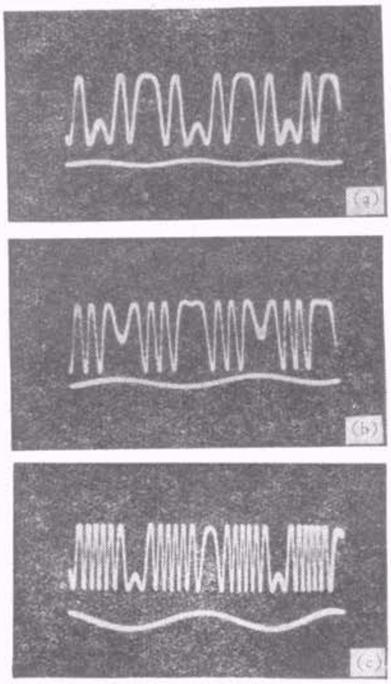

图 2　光电流波形
(a) 8mV；(b) 16mV；(c) 32mV

从图 2 照片看到，用简单的实验设备即可得到清晰的光电信号．表 1 结果表明，条纹计数法，当振幅较大时，与本法结果比较一致，当振幅较小时，差别增大，这是由于不到整数条纹的尾数丢失的缘故，所以其结果总是偏小．这

表明条纹直接记数法对振幅小于 1μm 时已不大适用. 用 7T08 信号处理器分析频谱时, 可对多段信号作平均处理;实验中,平均次数均多于二百次,这就减小了随机干扰的影响.

表 1 电动式喇叭的测量结果

电压(mV) 振幅(μm) 方法	2	4	8	16	32	64	128
J_1/J_3 法	0.065						
本法		0.132	0.277	0559	1.07	2.17	4.48
条纹法				0.514	1.03	2.14	4.43

表 2 驻极体传声器的测量结果

电压(V) 振幅(μm) 方法	2	4	6	8	12
J_1/J_3 法	0.0378	0.0775			
本　法			0.114	0.154	0.235

四、结　论

改进的 Bessel 函数法可用来测量大于 1000 Å 振幅的振动, 克服了原来 Bessel 函数法不能测量大振幅的限制. 本法对光路要求不高,也不需专用的电子设备,可作为实验室内一般换能器表面振幅测量之用.

本法只适用于简谐振动的测量, 这是零差法固有的缺点.

参 考 文 献

[1] H. A. Deferrari et al., *J. Acoust. Soc. Am.*, **42** (1967), 982.

[2] «数学手册»编写组,数学手册,人民教育出版社,(1979), 635.

1984 年第 4 期《物理》内容预告

1. 凝聚态物理的回顾与展望(冯端)
2. III-V 族化合物半导体的氧化膜及其界面性质研究的进展(陈克铭等)
3. 电介质及其在经济建设中的作用(李从周)
4. 真空紫外和软 X 射线波段成象探测器(佘永正等)
5. 测量声学材料复杨氏模量的传递函数方法(张同根等)
6. 近代物理讲座第五讲: 等离子体物理与受控热核反应简介(张承福)
7. 新实验技术讲座第十三讲: 扫描超声显微镜在材料科学上的应用(殷实端)
8. 波导理论的奠基人瑞利(黄志洵)