

用 1/3 倍频程滤波器作精密频率测量*

张家霖 齐士铃

(中国科学院物理研究所)

这里我们提出一种“邻带差值法”，利用三个滤波器电压输出差值，以较精确地测量信号频率。这种方法不但可以较精确地测量稳定纯音，也可以测量复杂周期信号的基频，并对时间变化有较好的分辨能力。当电压读数精度为 1 分贝时，测量频率精度优于 0.4% (频率)。

在对各种信号进行频率分析时，经常会遇到在频率维和时间维上的要求相互矛盾：要准确测定频率，便不能准确测定时间；而要准确测定时间，又不能准确测定频率。特别是常用的频率分析设备多半是由通带较宽的滤波器组成的，如在声学测量中常用 1/3 或 1/1 倍频程滤波器。利用这样的滤波器对离散频谱(如语音)进行精细的频率分析显然是有十分重要的实践意义的。

通常频率维和时间维的矛盾是由于对一个滤波器的海森堡 (Heisenberg) 测不准关系所决定的，即

$$\Delta f \cdot \Delta t \geq K,$$

这里 Δf 是频带宽度， Δt 是时隔， K 是常数。当我们利用一组滤波器对信号进行分析时便有一些新的条件可供利用，使得频率和时间这对矛盾在新的基础上得到新的统一。1/3 倍频程滤波器在声频范围内，在频率和时间两方面可取得较好的折衷。对于具有较好衰减特性的 1/3 倍频程滤波器，测量纯音或离散频谱的基频，不难得到一赫的精度。这是用窄带滤波所达不到的。其方法如下：

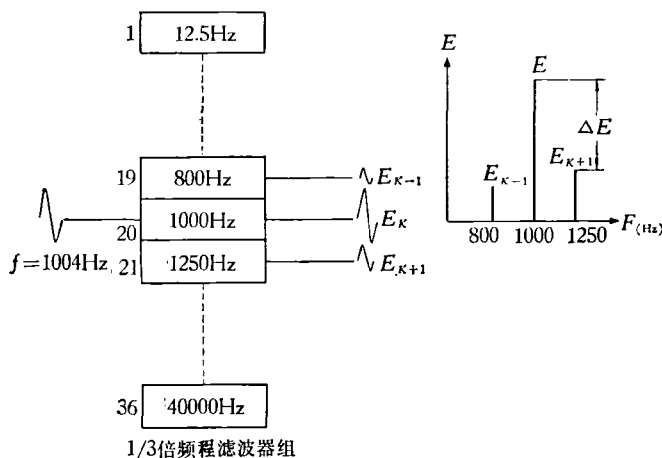


图 1 测量示意图

设有一纯音信号其频率为 f 待测，送入 1/3 倍频程滤波器组之后，除在包含 f 的通带 f_k 内有最大输出外，还在其相邻的通带 f_{k+1} 和 f_{k-1} 内产生一定的输出。当然更远的邻带也可能有输出，但只利用三个通带也就够用了。令 f_k 、 f_{k+1} 、 f_{k-1} 分别为第 k 、第 $k+1$ 、第 $k-1$ 号通带的中心频率。根据三个通带的输出的相对关系，可有如下三种情况 (见图 1)：

1. 当 $f = f_k$ 时：在 k 通带得到最大输出 E_k ， $k+1$ 和 $k-1$ 通带的输出相等， $E_{k+1} = E_{k-1}$ ；
2. 当 $f > f_k$ 时： $k+1$ 通带的输出 E_{k+1} 大于 $k-1$ 通带的输出 E_{k-1} ， $k+1$ 通带的输出最大可与 k 通带相等；
3. 当 $f < f_k$ 时： $k-1$ 通带的输出 E_{k-1} 大于 $k+1$ 通带的输出 E_{k+1} ， $k-1$ 通带的输出最大可与 k 通带相等。

对于已知频率特性的滤波器，根据邻带输出的差值 $E_k - E_{k+1}$ 或 $E_k - E_{k-1}$ ，可以定量地计算 f 与 f_k 的差值。这样便可以准确地通过测量输出电压而得到了频率 f 。

事实上，对于给定的滤波系统，采用实验的方法找出 $\Delta E = E_k - E_{k+1}$ 和 $\Delta f = f - f_k$ 的关系更为方便可靠。由振荡器向滤波器加以一定频率和电压的输入，在滤波器输出端，用较精密的电表测其输出电压。改变输入信号频率即可得出 ΔE 与 Δf 的关系。由于通常振荡器刻度较粗，可另接以数字频率计以读取准确的频率值。

我们对符合 IEC 标准 225-1966 的 (见图 2) 一套 1/3 倍频程滤波器 (12.5 赫—40 千赫)，经实际测量得到的 Δf 与 ΔE 的关系分别画成图 3, 4, 5。由图可见，在 $\Delta E < 10$ 分贝的情况下，每分贝的电压差值表示对中心频率有 0.4% 的偏离。因此，当所用电压表可读准 1 分贝时，若测量的频率在 1000 赫，则可读准 4 赫，若测量频率在 100 赫，则可读准 0.4 赫。当 $\Delta E > 10$ 分贝时所得精度更高。

在带有屏幕显示的 1/3 倍频程分析设备上，采用图 2, 3 便于直接读取 Δf ，再由 $f_k \pm \Delta f$

*1977 年 3 月 19 日收到。

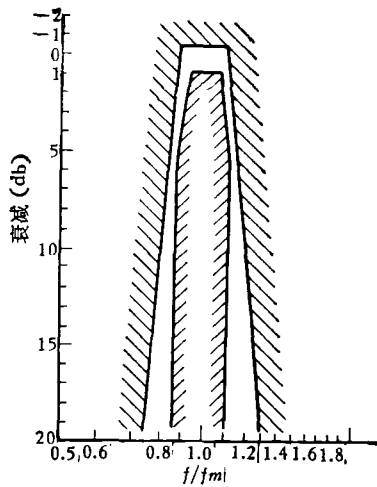


图2 IEC 建议的标准 1/3 倍频程滤波器的衰减特性

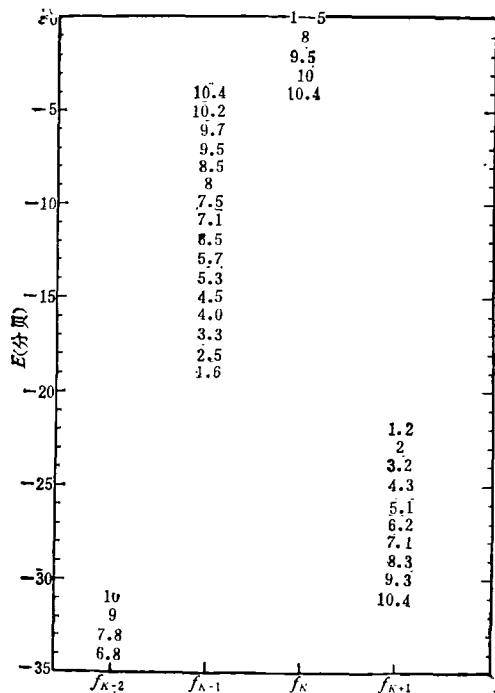


图3 正弦信号频率对 1/3 倍频程滤波器中心频率 f_k 偏离 $-\Delta f$ 时各相邻通带中的相对响应 (图中数字系在该点的相对响应下 $-\Delta f/f_k$ 的百分数)

算出频率值。不带屏幕显示则可由电表分三次读取 E_k, E_{k+1}, E_{k-1} , 再求得 ΔE , 由图 5 查出 Δf 后再算得频率值。

还可以进一步运用这一关系对复杂的周期信号测量其基频。用 1/3 倍频程滤波器进行语言信号的基频提取, 这要比常用的方法方便得多。在语言信号基频的覆盖范围内 (70—450 赫), 设置 10 个 1/3 倍频程滤波器。首先由低频向高频检测滤波器的输出, 找出第

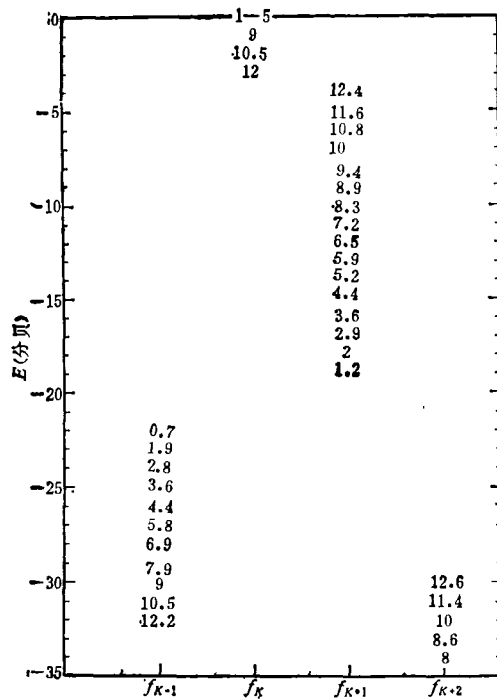


图4 正弦信号频率对 1/3 倍频程滤波器中心频率 f_k 偏离 $+\Delta f$ 时各相邻通带中的相对响应 (图中数字系在该点的相对响应下 $\Delta f/f_k$ 的百分数)

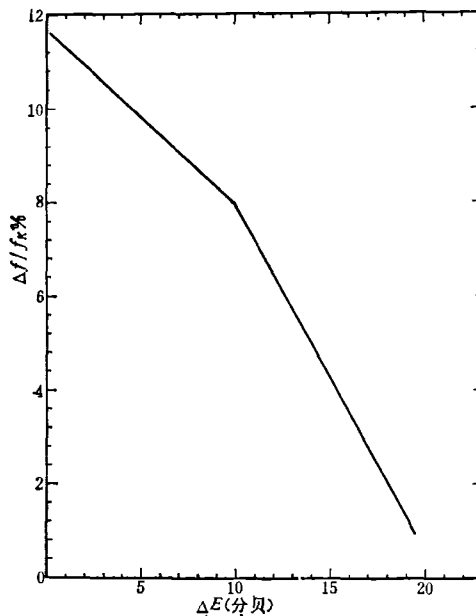


图5 邻带电压差值 ΔE 和偏离中心频率的相对值 $\Delta f/f_k$ 的关系

一个最大输出的通带 k , 再求出 $E_k - E_{k-1} = \Delta E_1$, $E_k - E_{k+1} = \Delta E_2$, 当 ΔE_1 或 ΔE_2 其中任一个大于 20

(下转第 197 页)

们自己才是孔老二的徒子徒孙。

例如江青,虽然生在二十世纪,思想却没脱离西太后的范畴。

那末,西太后要不要科学呢?

也是要的。据说,有一次,外国人送西太后一辆汽车,她就要了。但她不能容忍司机如此放肆地坐在她面前,跪着又无法开车。所以,她就一个人坐在车里,前面用一匹马拉着汽车走。

西太后对待汽车的态度大致可象征性地说明历代没落反动统治者对待科学的态度。科学还是要的,但必须是驯从的奴仆。正如鲁迅指出,火药只作爆竹,指南针只看坟地,“麻将桌旁,电灯替代了蜡烛”,只能如此。因为科学的发展所引起的生产力的进步以及随之而来的社会变革威胁着他们的统治,而理论科学所必须的探索精神和批判态度又必然成为广大人民反抗他们的思想武器。因此,他们非常仇恨科学思想的发展与传播。两千年来,他们竭力宣扬“天不变、道亦不变”的形而上学天命观,唯心主义的程朱理学,科举制度和八股文,用以严重地束缚着人们的思想。

(上接第 202 页)

分贝时即判断为有声调,再根据另一个较小的电压差值来求这时的基频频率值。上述 20 分贝作为判断有基频没基频的阈值,是由滤波器特性所决定的。当语言信号是浊音时,有振动基频和离散的谐波。在相邻三个滤波器之内不会有两条谱线(基频和二次谐波)落入。因此,在三个滤波器内的能量分布将和纯音时一样(见图 3, 4)。考虑到可能有的噪声干扰和在低频段滤波器的时间常数较大,以致浊音开始部分会受它

也正如鲁迅所讽刺的,用《易经》咒不翻潜水艇,《论语》感化不了侵略军,孔孟之道是与科学格格不入的。它们阻碍了我国的科学技术,尤其是理论科学的发展。

江青也是如此。在她眼里,科学院除了搞点为她这个“女皇陛下”服务的东西以外别无用处。待到江青“登基”之日,这些东西使上之时,科学院和科学就变成不三不四、非驴非马的东西,象西太后的汽车一样了。

然而这只是江青的一枕黄粱。科学绝不是神仙皇帝殿堂上的装饰品。“科学愈是毫无顾忌和大公无私,它就愈加符合于工人的利益和愿望。”¹⁾西太后的时代早已过去。在粉碎了“四人帮”以后,我国自然科学的基础理论必将在华主席的英明领导下,沿着毛主席的教导和周总理的指示的方向蓬勃发展,为无产阶级革命事业作出应有的贡献。

1) 恩格斯,《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》,《马克思恩格斯选集》第 4 卷,第 254 页。

前头辅音的拖长的影响,可将这一阈值减至 15 分贝。

我们利用这一方法,对自然的连续语言,做了基频提取,并将其结果与其它方法互相对比,认为效果是良好的。这种方法,在配有电子计算机的 1/3 倍频程频率分析装置上,利用图 5 给出的曲线,进行运算,则甚为简便。当然上述运算过程,采用电子线路来完成,也并不是十分复杂的。

这样,一套 1/3 倍频程频谱仪,经校准以后,便可以当作频率计来用。从而,更加发挥了设备的潜力。