

常用微波测试仪表

Changyong Weibo
Ceshi yibiao

2



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书主要介绍PW-10型外差式频率计和PS-43数字式频率计。对这两部仪表的各种性能指标,工作原理,使用方法、故障分析与检修方法都作了较详细的介绍,并提供了有关的数据资料,供使用与维修时参考。

本书适用于仪表使用与维修人员阅读,也适合于电信专业学校的学生和有关训练班学习参考。

常用微波测试仪表

第二辑

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

轻工出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1983年 月第一版
印张: 7 页数: 112 1983年 月北京第一次印刷
字数: 152千字 插页: 7 印数: 1—11,000册
统一书号: 15045·总2761-无6249
定价: 0.80元

出 版 说 明

本书是《常用微波测试仪表》的第二辑,主要介绍 PW-10 型外差式频率计和 PS-43 数字式频率计。为了适应维护工作的需要,我们将结合目前微波通信中常用的各种测试仪表,组织编写有关使用和维护的较详细的资料,汇集成册,陆续分辑出版。

诚恳希望读者对本书的内容安排和编写方式给予指正。

1982年11月

目 录

一、PW-10型外差式频率计..... (1)

——国营大华无线电仪器厂 周立人

- 一、主要技术性能..... (1)
- 二、工作原理..... (2)
- 三、仪器的结构..... (31)
- 四、仪器的成套性..... (35)
- 五、仪器的使用方法..... (36)
- 六、仪器的检查..... (46)
- 七、常见故障现象及检修方法..... (53)
- 八、附表..... (67)

二、PS-43 数字式频率计..... (79)

——上海无线电仪器厂 周庆云

- 一、基本测量原理..... (79)
- 二、PS-43 的系统..... (83)
- 三、整机检修..... (96)
- 四、A 放除二单元的原理和检修..... (118)
- 五、高速计数单元的原理和检修..... (128)
- 六、译码单元的原理和检修..... (138)
- 七、中速、低速计数单元及分频单元的原理
和检修..... (147)
- 八、时标输出单元的原理和检修..... (154)
- 九、B 放时基单元的原理和检修..... (160)
- 十、控制单元的原理和检修..... (168)
- 十一、100MHz 倍频器的原理和检修..... (178)

十二、电源部分的原理和检修.....	(181)
十三、高阻探头的原理和检修.....	(185)
附录一 PS-43 通用的器件和电路.....	(188)
附录二 技术指标.....	(212)

PW-10型外差式频率计

PW-10型外差式频率计，由于测量的频带宽、精度高，故在早期有宽频带、高精度外差式频率计之称。其外形如图1所示。它被广泛用于校准厘米波波长计或测量厘米波段的等幅振荡信号的频率。

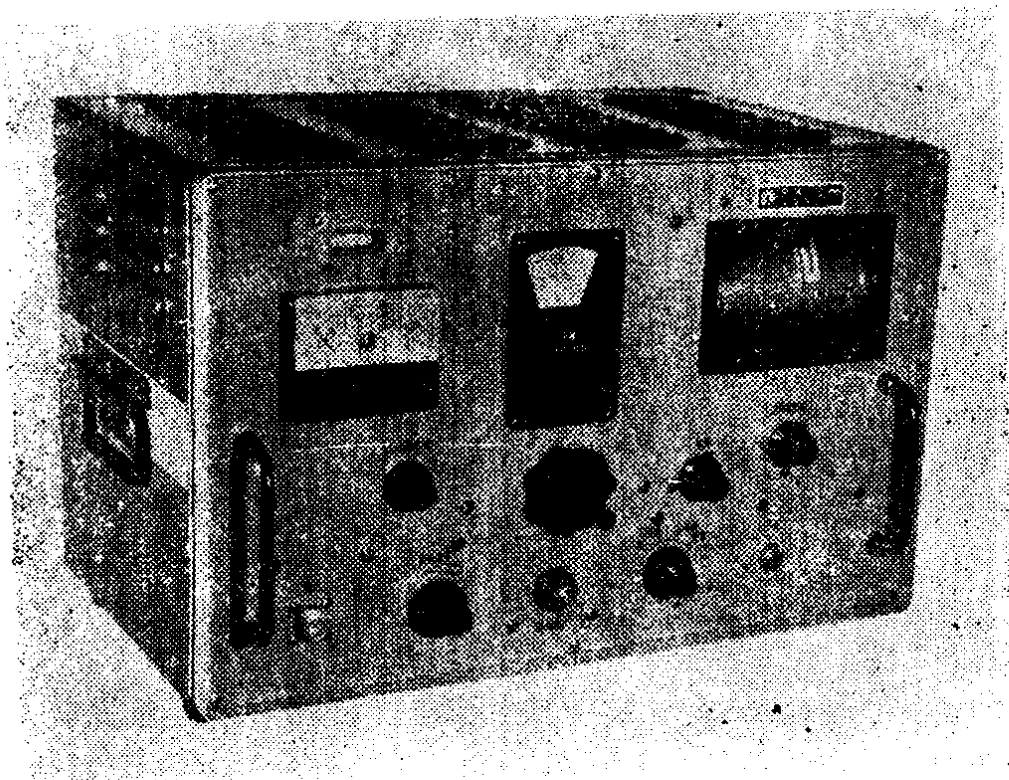


图1 外形图

一、主要技术性能

- (一) 测量范围：2500~18000兆赫（12~1.7厘米）。
- (二) 测量误差： $\pm 5 \times 10^{-5}$ （相对误差）。
- (三) 灵敏度：100微瓦。

(四) 最大输入功率不大于100毫瓦。

(五) 工作条件:

1. 环境温度由 $+10^{\circ}\text{C}$ 到 $+35^{\circ}\text{C}$;
2. 相对湿度 $40\% \sim 80\%$;
3. 可连续工作 8 小时;
4. 在更换备用电子管时, 须重新调整、检定仪器的主要技术指标。

(六) 仪器不用时应放入包装箱中保存, 在满足下列条件时, 长期保存于包装箱中的仪表再使用时, 仍能满足上述要求:

1. 温度由 -40°C 到 $+40^{\circ}\text{C}$;
2. 相对湿度达 $95 \pm 3\%$, 温度 $+20^{\circ}\text{C}$ 。

(七) 仪器是由电压为110伏或220伏、频率为50赫的交流电源供电。电源电压由额定值变化 $-15\% \sim +10\%$ 时, 应能正常工作。

(八) 仪器消耗的功率, 不大于200伏安。

二、工作原理

PW-10 型外差式频率计是一种利用外差法和谐波混频的原理, 实现在宽频带范围内测量微波频率的仪器。现将基本工作原理及各组成部分之间的工作关系等分述如下。

(一) 基本工作原理

1. 仪器的组成

该仪器的电原理方框图如图 2 所示。它主要由频率校准、频率测量、本机振荡器 (亦称本振, 其覆盖的频率范围为

826~1114兆赫) 和公用部分四大部分组成。其中,频率校准部分包括10兆赫晶体振荡器、恒温控制器、2兆赫多谐振荡器、校准调制器和校准混频器; 频率测量部分包括全套的外接混频头; 公用部分包括差频放大器、差频指示器以及交直流稳压电源。此外还附有监视本振有无功率输出和混频头工作是否正常的电表指示器。

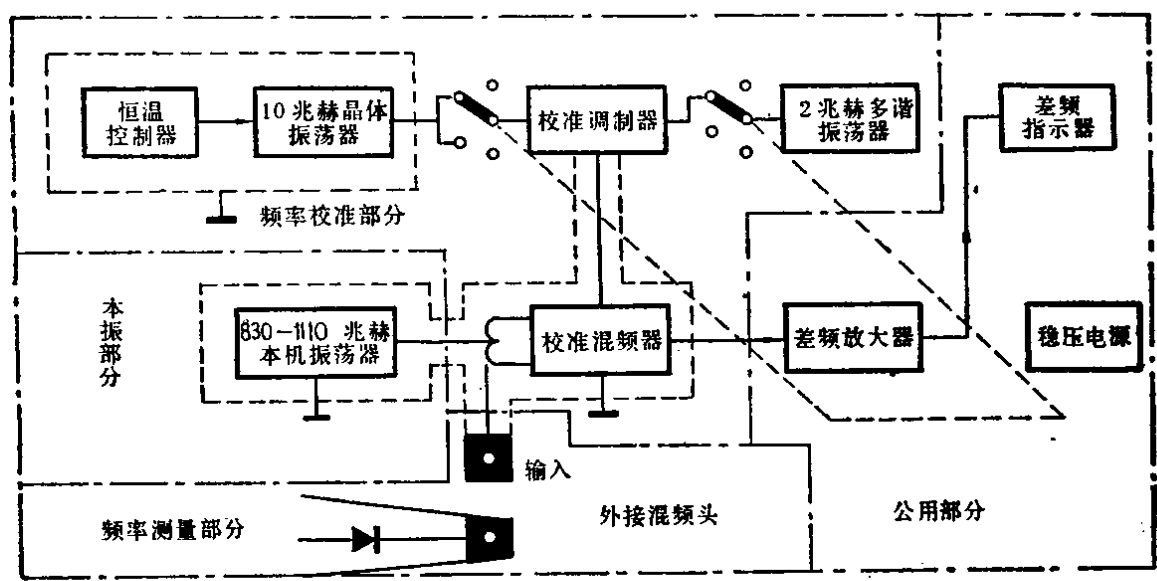


图2 电原理方框图

2. 谐波混频原理

谐波混频是本仪器用来扩展频率测量范围的基本手段。仪器无论是工作在校准状态还是测量状态，都应用了谐波混频原理。测量仪器中的所谓混频，是指将一基准信号 F_1 与另一被校准或被测信号 F_2 一同送入混频器，使它们在通过非线性元件后产生新的频率。由于该仪器所选取的新频率是基准信号的 N 次谐波与被校或被测信号的基波或谐波混频后所产生的差频，所以称为谐波混频。其差频产生关系如图3所示。

混频器（或混频头）的作用是实现信号的相乘，在图3

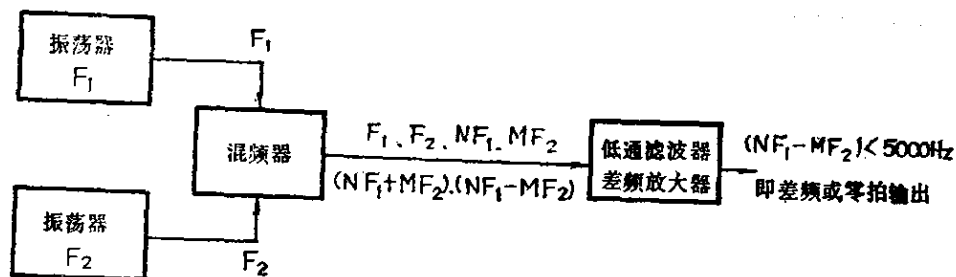


图3 混频原理

中混频器的输出就是振荡信号 F_1 与另一振荡信号 F_2 的相乘。下列表示式描述了这种混频过程，

$$\text{信号 } F_1 = E_1 \sin \omega_1 t$$

$$\text{信号 } F_2 = E_2 \sin \omega_2 t$$

$$\text{混频器输出} = E_1 E_2 \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t$$

$$= \frac{E_1 E_2}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t]$$

在实际混频过程中，一个信号的幅度远大于另一信号的幅度（一般都是基准信号功率大于被校或被测信号），结果证明其乘积可取以下形式：

$$\begin{aligned} \text{混频器输出} = & K \frac{E_1 E_2}{E_1} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \\ & - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] + \text{直流分量} + \\ & + \text{寄生高频分量} \end{aligned}$$

式中 K 是一比例常数， E_1 是两信号之中幅度较大的一个信号，它对混频输出不起控制作用，而混频输出主要取决于 E_2 ，主要的寄生分量是频率为 F_1 （即 $\omega_1/2\pi$ ）及 F_2 （即 $\omega_2/2\pi$ ）的分量以及它们的谐波，同时还有一个直流分量。

图3中的低通滤波器是将混频器输出端不希望有的高频成份衰减掉，而让差频 $F_1 - F_2$ ，即 $(\omega_1 - \omega_2)/2\pi$ 和直流分

量通向输出系统。

本仪器的电路图如图 4 所示。在图 4 中即可看出，当仪器接好外接混频头后，仪器加电工作时，由于本振有信号功率输出，则混频头中产生的直流分量，将由电阻 R_{17} 经电表流向地端。因此当电表中有电流指示，就证明本振有振荡功率输出。其指示电流数值的大小，相对地反应了混频晶体管上得到功率值的大小，同时也判别了混频晶体管检波性能的好坏。这样它除了完成监视谐波混频的任务外，另外还起到了监视仪器工作情况是否正常的作用。

差频信号由差频放大器送到差频指示系统中，作为寻找差频点的依据。由于差频放大器是一组只对低频信号起放大作用的放大器，它对 10 千赫以上信号起衰减作用，混频器中输出的高频信号（即 F_1 、 F_2 或 $F_1 + F_2$ 以及它的谐波）将被电容 C_{10} 所旁路，这样整个的工作过程就起到了图 3 中低通滤波器的作用，而取出了所需的差频信号。

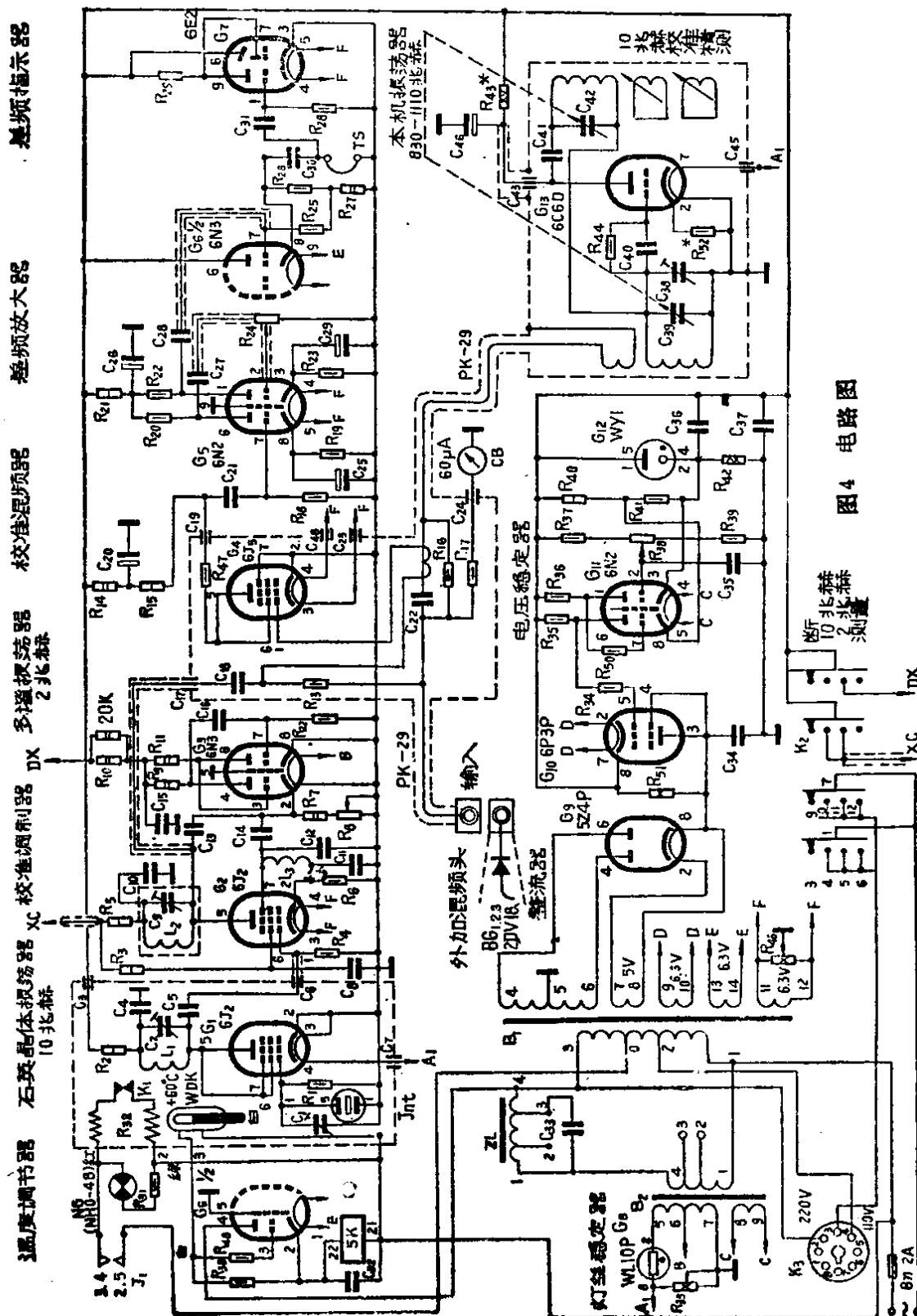
若仪器处在校准状态，则基准信号为晶振信号 F_0 ，所得的差频信号为 $MF_0 - F_{\text{被校}}$ （即本振信号 F_0 ）。若仪器工作在测量状态，则基准信号为本振信号 F_0 ，所得的差频信号为 $NF_0 - F_{\text{被测}}$ 。这里的 M 、 N 为基准信号频率的谐波次数，均为正整数； $F_{\text{被校}}$ 、 $F_{\text{被测}}$ 分别表示为被校准或被测量的信号频率。

3. 基本工作过程

根据上述谐波混频原理，仪器在进行频率校准和频率测量时的工作过程如下（参见图 4）。

（1）频率校准

本仪器的频率测量精度是靠对本振频率校准来保证的。由于对本振频率进行了校准，可以使本振的频率刻度读数的



精度提高约三个数量级（在校准点上可由 1×10^{-2} 提高到 1×10^{-5} ）。因此在测量之前必须进行 10 兆赫和 2 兆赫校准。当进行 10 兆赫校准时，面板控制开关 K_2 未能将接线板的接点 DX 与 300 伏电源接通，故 2 兆赫多谐振荡器 (G_3) 不工作；而接点 XC 经开关 K_2 与电源接通，这时校准调制器 (G_2) 工作，但它只起缓冲放大作用。来自 10 兆赫晶体振荡器的信号经 G_2 放大后，由其阳极输出，经屏蔽线、 C_{17} 和 C_{18} 送到校准混频器 (G_4) 的栅极。在校准混频器中，10 兆赫晶振信号 (F_s) 与来自本机振荡器的 830~1110 兆赫的本振信号 (F_o) 进行谐波混频，混频后得到 $MF_s - F_o$ 的差频信号。此信号经差频放大后，送至差频指示器和耳机。以使用听差频点的方法对本振频率的 10 兆赫刻度进行校准。

在此校准过程中，用调整主调旋钮和 10 兆赫校准旋钮来改变本振信号的频率，使主刻度盘在每个 10 兆赫刻线处，都有差频信号产生，这样即可完成对本振信号频率的 10 兆赫刻度校准。

当进行 2 兆赫刻度校准时，接线板的接点 XC 和 DX 均通过控制开关 K_2 与 300 伏电源接通，故校准调制器与 2 兆赫多谐振荡器均处于工作状态，校准调制器起调制作用。此时 10 兆赫晶振信号经 C_5 、 C_6 耦合到校准调制器 G_2 的栅极，多谐振荡器输出的 2 兆赫振荡信号，经 C_{14} 耦合到 G_2 的抑制栅极。两者在校准调制器中进行幅度调制，这样在输出端除了有 10 兆赫信号外，还有 8 兆赫、12 兆赫的边频。它们由 G_2 的阳极输出，经屏蔽线和电容 C_{17} 、 C_{18} 一起送至校准混频器与 830~1110 兆赫本振信号进行混频并产生差频，以便对本振频率的 2 兆赫刻度进行校准，保证了 2 兆赫刻度的精确度。混频后的工作过程与 10 兆赫校准时相同。

本振的刻度读数，是由主调刻度盘和微调刻度盘（亦称精测刻度或内插刻度）两部分组成的，主调刻度划分频率的读数是由每10兆赫相隔一点的刻度读数和由10兆赫间有五个2兆赫的刻度读数组成，它可以根据工作开关的档位和控制旋钮的调节，来完成对10兆赫和2兆赫频率刻度校准。而这些刻度点的频率准确度、是直接由晶体振荡器频率的精度（晶体振荡器频率的相对误差为 $\pm 5 \times 10^{-6}$ ）而决定。也就是说，如果不考虑本振频率漂移和校准时零拍点有差频（约几十赫）的话，在此校准点上，刻度读数的精度可以认为与晶振精度相同（为 $\pm 5 \times 10^{-6}$ ）。但是，这样的刻度分辨率最小读数只有2兆赫，为了提高读数的分辨率，在2兆赫读数范围内，又另制成一组2兆赫微调刻度，它是利用内插法原理来完成的（即内插刻度）。它的分辨率最小刻度读数是50千赫，但这部分误差较大，其最大点为 $\pm 3 \times 10^{-6}$ ，这两部分便组成了本振频率的全部刻度。

前面已经介绍了谐波混频原理和仪器中的各种信号频率（如本振频率由826兆赫到1114兆赫*及10兆赫晶振信号频率被2兆赫多谐振荡器调制后在校准调制器中产生12兆赫、10兆赫、8兆赫的各种信号频率）是怎样产生的，因此它便可实现对本振一系列频率刻度进行校准。

因为在校准混频器中产生信号时有两种工作状态，所以它组成的频率关系也不一样。如仪器工作在10兆赫校准档位，则在校准混频器中出现的信号频率有本振的信号频率 F 。和10兆赫晶振信号频率 F_0 。本振频率是由826兆赫连续可变的，

* 对于规定的本振频率830 MHz—1110 MHz而言，这里所说的本振频率是在上下限处留有4 MHz的余量，一般都留有一定的余量。

它与10兆赫 F_s 的谐波信号混频产生差频的点数共有29个。也就是 F_s 的谐波 M 值可在83到111范围内按正整数变化,选择出830兆赫到1110兆赫范围内相对应的每10兆赫一点的差频点。其代数关系式如下:

根据 $MF_s - F_{\text{被校}} = \text{差频}$ 的关系式即可得出

当 $F_{\text{被校}} = 830$ 兆赫时, 代入上式

830兆赫 $-M \times 10$ 兆赫 ≈ 0 赫时, $M = 83$ 。

当 $F_{\text{被校}} = 840$ 兆赫时,

840兆赫 $-M \times 10$ 兆赫 ≈ 0 赫时, $M = 84$ 。

当 $F_{\text{被校}} = 1110$ 兆赫时,

1110兆赫 $-M \times 10$ 兆赫 ≈ 0 赫时 $M = 111$,

其余则可依次类推。

如果仪器工作开关在2兆赫校准档位, 则在混频器中出现的信号频率除有本振的信号频率 F_s 和10兆赫晶振的频率 F_c 外, 另还有2兆赫对10兆赫调制后产生的上边频($F_{\text{上}} = 12$ 兆赫)和下边频($F_{\text{下}} = 8$ 兆赫), 且对应的各次谐波也不一样。其中 M 值可以与10兆赫校准档相近似地选择。上边频的谐波次数用 $M_{\text{上}}$ 表示, 下边频谐波次数用 $M_{\text{下}}$ 表示。 $M_{\text{上}}$ 或 $M_{\text{下}}$ 均为正整数, 但每次组合中它们的数值并不一定相等。它们可以是 M 、 $M_{\text{上}}$ 、 $M_{\text{下}}$ 的任意值, 参加多种频率组合。 $M_{\text{上}}$ 或 $M_{\text{下}}$ 均为零以上的正整数。但是不论它们如何组合, 都必须符合以下的关系式:

$F_{\text{被校}} \approx M \times F_s \pm M_{\text{上}} \times F_{\text{上}} \pm M_{\text{下}} \times F_{\text{下}}$, 也就是

$F_{\text{被校}} - (M \times F_s \pm M_{\text{上}} \times F_{\text{上}} \pm M_{\text{下}} \times F_{\text{下}}) \approx 0$, 或等于差频。例如

$F_{\text{被校}} = 1002$ 兆赫, 它可以产生下列多种组合关系式:

即

$$1002 \text{兆赫} - (99 \times 10 \text{兆赫} + 1 \times 12 \text{兆赫}) \approx 0$$

上列式中的 $M=99$, $M_{\text{上}}=1$ 。

如选 $M=101$, $M_{\text{下}}=1$ 则组成关系式如下:

$$1002 \text{兆赫} - (101 \times 10 \text{兆赫} - 1 \times 8 \text{兆赫}) = 0$$

又如

$F_{\text{被校}}=1064$ 兆赫时, 它可以产生下列各种组合关系:

可以选 $M=104$, $M_{\text{下}}=3$ 则组成关系式如下:

$$1064 \text{兆赫} - (104 \times 10 \text{兆赫} + 3 \times 8 \text{兆赫}) \approx 0 \text{赫},$$

也可以选 $M=104$, $M_{\text{上}}=2$ 则组成关系式如下:

$$1064 \text{赫} - (104 \times 10 \text{赫} + 2 \times 12 \text{兆赫}) \approx 0 \text{赫}$$

还可以选 $M=108$, $M_{\text{下}}=2$ 则组成关系式如下

$$1064 \text{兆赫} - (108 \times 10 \text{兆赫} - 2 \times 8 \text{兆赫}) \approx 0 \text{赫}$$

根据以上结果可知, 只要找到适当的 M 、 $M_{\text{上}}$ 、 $M_{\text{下}}$ 的数值, 经过代数式的组合, 均可得到一系列数字, 对本振刻度进行 2 兆赫各点的校准。同样, 也可以对微调 2 兆赫刻度进行起止点的校准。

关于差频点的寻找需要有一个明确的概念, 在校准或测量过程中, 有人把耳机中听到的差频声的最响点误认为是理想的频率校准点, 其实理想的差频是零赫 (或接近零赫约 20 赫左右), 这样低的频率人耳是听不到的, 而且差频放大器和耳机对此信号频率已经截止了, 放大器的频率响应范围是 200 赫到 5000 赫, 其响度和差频的曲线关系如图 5 所示。从图 5 中可以看出 B 和 C 区域范围内差频声最响, 但频差较大, 而真正理想的差频校准点应该是图 5 中 A 区域范围内。也就是当寻找差频信号时, 在单一方向缓慢地改变本振频率情况下 (本振频率由低向高改变), 从很窄的范围内, 连续听到两个差频声最响区域 (B 和 C) 之间出现无音频信号输出的区域

(图 5 中 A 处)这便是真正的零差频点(亦称零拍点)。如果校准点选在声音最响的 B 或 C 区域,那就要使校准精度受到损失,这是校准中不希望发生的。

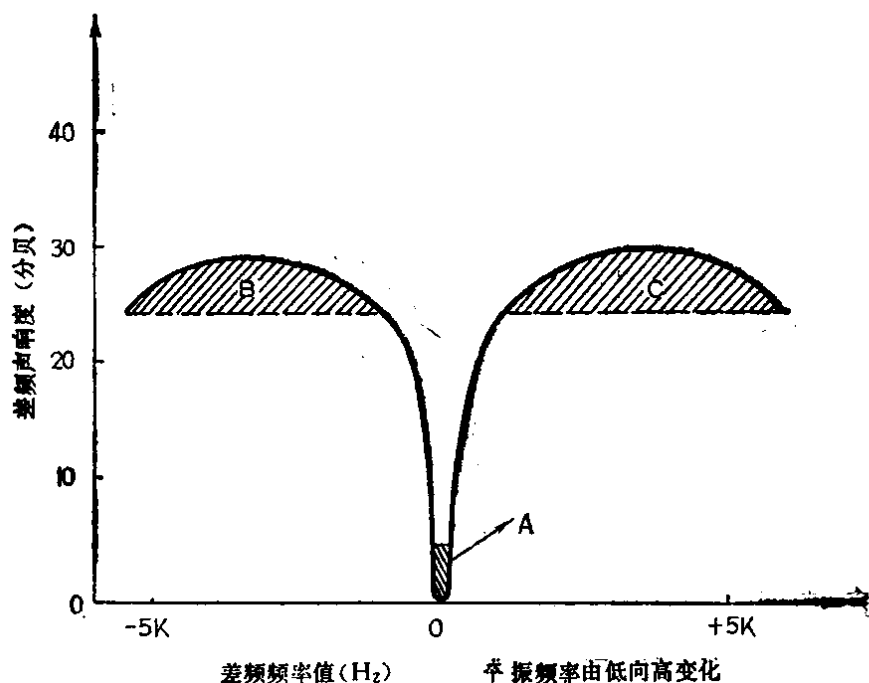


图5 理想差频信号识别区

在实际测量过程中,随着被测信号频率的提高,又由于被测信号短期稳定度差,频率漂移快,对于几十赫甚至几百赫的频率变化,往往是无法精确调到的,故在寻找差频点时只要避免上面的错误,对调偏几百赫的频率是允许的。

(2) 频率测量

当仪器工作在测量状态时,由图 4 可见,控制开关 K_2 将接点 DX、XC 与电源断开(即校准系统停止工作),此时 10 兆赫晶振虽然仍在工作,但其输出信号已被校准调制器阻断。此时校准混频器 G_4 的栅极无校准信号输入,只有测量时产生的差频信号输入;故电子管 G_4 这时只起放大作用。

在此工作状态下,外加混频头应接至输入端。这时本振信号经 C_{12} 加至外加混频头,与从混频头输入的被测信号一

同在外加混频头中进行谐波混频。混频后得到的 $Nf_0 - f_{\text{被测}}$ 的差频信号经 R_{13} 加到校准混频管 G_4 的栅极, 进行差频放大。此后的工作过程与校准状态时相同。由于测量状态下的差频放大增多了一级, 所以此时仪器的灵敏度有所提高, 但耳机中的噪声也相应加大。

将测得的本振频率 (即听到差频声时仪表面板上的频率刻度指示值) 乘以谐波次数 N (初测时已由零拍曲线表查得) 就是被测信号的频率值。

(二) 各组成部分的工作原理

1. 本机振荡器

本机振荡器覆盖的频率范围为 $826 \sim 1114$ 兆赫。本机振荡器采用共栅极双回路电路, 见图 4, 其结构如图 6 所示。6C6D 型灯塔三极管作为振荡管。其板一栅回路是环形空腔谐振器; 而栅一阴回路是一段同轴线。用 C_{42} 和 C_{20} 圆柱形双联电容器进行调谐, 板极圆柱形可变电容器的直线进退部分与丝杠固定联结, 阴极圆柱形可变电容器直线进退轴杆通过丝杠内部圆孔穿出, 并和丝杠成螺纹连接, 因此可以保证在不影响板极回路下, 进行阴极回路的微调, 获得最佳反馈。此后, 将阴极电容器转动的轴杆用螺母锁紧, 可以使板一栅回路和栅一阴回路圆柱形电容器联动, 以达到调节频率的目的。

栅一阴极回路上的起始电容器 C_{30} 也是用来作调节回路反馈用的。

本机振荡器还有两个可旋转的短路电感线圈。其中之一, 在校准振荡器 10 兆赫刻度时作为本机振荡器的频率调节 (即面板上标《10 兆赫校准》); 另一个是在精确测量频率时, 作为在 2 兆赫内微调本机振荡器频率用的 (即面板上标《精