

UDC 621.396.61 : 621.317.36
M 04



中华人民共和国国家标准

GB/T 15541—1995

发射频率的测量方法

Methods of measurement for transmitting frequency

1995-04-06 发布

1995-12-01 实施

国家技术监督局 发布

发射频率的测量方法

Methods of measurement for transmitting frequency

1 主题内容与适用范围

本标准规定了各类无线电发射设备的频率测量方法和空间电波频率的监测方法。

本标准适用于工作频率为 1.6~1 000 MHz 的各类无线电发射设备,同时可为无线电发射设备生产、使用单位以及有关管理部门,对发射频率进行检测和监测提供技术依据。

2 引用标准

- GB 4312.1 调频广播发射机技术参数和测量方法 单声和立体声
- GB 6277 电视发射机测量方法
- GB 6933 短波单边带发射机电性能测量方法
- GB 4958.7 地面无线电接力系统所用设备的测量方法 第二部分:发射机
- GB 7396 电视差转机测量方法
- GB 12572 发射机频率容限
- GB 12192 移动通信调频移动无线电话发射机测量方法
- GB/T 13622 无线电管理术语

3 术语

3.1 特征频率 characteristic frequency

在给定的发射中,易于识别和测量的频率。

3.2 发射频率 transmitting frequency

在某一指定发射中,发射机输出端射频振荡的特征频率或发射到空中无线电波的特征频率。

3.3 参考频率 reference frequency

相对于指配频率,具有固定和特定位置的频率。此频率对指配频率的偏移与特征频率对发射所占频带中心频率的偏移具有相同的绝对值和符号。

3.4 频率稳定度 frequency stability

在给定的发射中,并在一定的时间间隔内,特征频率的稳定程度。或者是在规定的时间间隔内发射的特征频率相对于参考频率发生的最大变化值。

频率稳定度可以用相对值百万分之几或绝对值若干赫兹(Hz)表示。

4 标准测试条件

4.1 标准大气条件

在标准大气条件下的测量一般在标准大气试验条件下进行。标准大气试验条件见表 1 规定。

表 1 标准大气试验条件

温 度	相对湿度	气 压
+15~+35℃	45%~75%	86~106 kPa

4.2 电源要求

调频广播发射机按 GB 4312.1 的规定；

电视发射机按 GB 6277 的规定；

短波单边带发射机按 GB 6933 的规定；

电视差转机按 GB 7396 的规定；

25~1 000 MHz 陆地移动通信调频无线电话发射机(含与接收机共机)按 GB 12192 的规定。

4.2.1 调幅广播发射机,通常为交流供电,其标准测试电压变化应在标称电压的 $\pm 2\%$ 范围内。电源频率应在标称频率(50 Hz)的 $\pm 1\%$ 范围内。

4.2.2 标准测试电压的测量应采用 0.5 级的电压表进行。在测量过程中,实际测量的电压值对规定值的偏离应限制在 $\pm 2\%$ 之内。

5 测量方法分类

发射频率的测量系指对给定发射的特征频率所实施的测量。

5.1 设备测量(近端测量)

设备测量为测量仪表与无线电发射设备通过耦合装置所实施的测量。其连接框图见图 1。

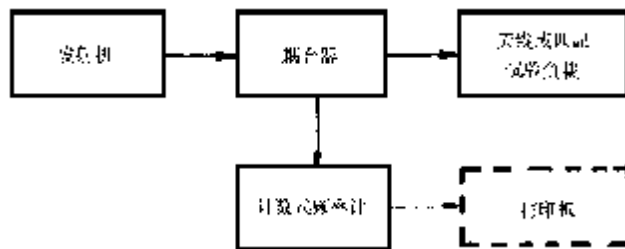


图 1

5.1.1 一般测量

一般测量指所用测量仪表(例如图 1 的计数式频率计)的精度高于待测频率的频率容限或高于发射机有关设备规范所规定的频率稳定度一个数量级的测量。

5.1.2 高精度测量

所用测量仪表精度比一般测量所要求的精度至少高出一个数量级、用标频台发射的标准频率作基准频率进行的测量、用精度高于待测频率若干个数量级的频率源作标准频率进行的比较测量均称为高精度测量。

5.2 空间监测

测量仪表对无线电发射设备所发射的空间无线电波实施的测量称空间监测。

空间监测的所用仪表与设备测量的测量仪表比较需添加一部配套的接收机。

整套空间监测装置在监测台(站)是固定安装的,用于固定空间监测;安装于汽车内为移动监测。

5.2.1 一般测量

同 5.1.1 条。

5.2.2 高精度测量

同 5.1.2 条。

一般测量用于对发射频率的监督管理；高精度测量一般用于需严格核准发射频率的场合。

6 测量仪表

6.1 计数式频率计

计数式频率计是发射频率测量的主要仪表。不超过 30 MHz 的频率测量可选用中速频率计；超过 30 MHz 频率的测量可选用高速频率计。

测频精度主要取决于时基(频率)的准确度和稳定度。常用的中、高速计数式频率计精度可达 10^{-6} ~ 10^{-9} ，可根据被测频率的情况选择适当精度的频率计。

在需要连接打印机的场合，要求频率计配有打印机接口。

6.2 监测接收机

6.2.1 30 MHz 以下监测接收机的主要技术要求

a. 工作频率范围：

15 kHz~30 MHz，每步 1 Hz；或

10 kHz~30 MHz，每步 10 Hz。

b. 工作类别：

USB/LSB(R3E,H3E,J3E)

AM(A3E)

CW(A1A)

MCW(A2A)

ISB(B8E)

FM(F3E)或 FSK(F1B)

c. 工作频率调整：

全频段用频率合成器按每步 1 Hz 连续可调；或全频段用频率合成器按每步 10 Hz 连续可调。

d. 储存方式：

频率设定可由数字键盘和/或由一个单飞轮调谐旋钮完成。采用预先储存若干个频道(例如 100 或 30 个)自动扫描选取频道。

e. 频率稳定度：

对 15 kHz~30 MHz，每步 1 Hz， $\pm 3 \times 10^{-9}/^{\circ}\text{C}$

$\pm 3 \times 10^{-9}/\text{d}$ ；

对 10 kHz~30 MHz，每步 10 Hz， $\pm 3 \times 10^{-7}(-10 \sim +45^{\circ}\text{C})$

$\pm 3 \times 10^{-8}/\text{d}$ 。

f. 天线输入阻抗：50 Ω /75 Ω 。

6.2.2 30 MHz 以上监测接收机主要技术要求

a. 工作频率范围：

20~1 000 MHz，每步 10 Hz；或

20~1 000 MHz，每步 1 kHz(对 SSB/ISB 为 10 Hz)。

b. 工作类别：

AM(A3E)

LSB/USB(J3E)

ISB(B8E)

FM(F3E)

CW(F1B)

PULSE

c. 储存方式:

可储存 100 个频道;具有按预置停留时间自动或半自动扫描能力。

d. 长期频率稳定度:

对每步 10 Hz 的接收机: $\pm 5 \times 10^{-10}/d$

$\pm 1.5 \times 10^{-8}/30d$ 以上

对每步 1 kHz 的接收机: $\pm 10^{-9}/d$ 。

e. 天线输入端:

输入阻抗为 50 Ω 标称值;典型的 VSWR 小于 3 : 1。

7 发射频率测量方法

7.1 发射设备的频率测量

7.1.1 A1A、A2A、A3F、A3C 类发射

发射机的输出端接到天线系统或相应的假负载上;发射机音频输入端不加音频输入信号。

对于单频点工作的发射机采用指配的工作频率;对于频段工作的发射机应在工作的频段内选择不少于 5 个频点(其中应包括最高工作频率和最低工作频率)分别进行测量。

开启发射机,待发射机进入正常运行状态(功率达到标称值 95%以上),分别在选定的频率点进行测量。

7.1.1.1 一般精度测量(直接计数法)

按 5.1.1 条要求选择计数式频率计或其它测频仪表,测量框图如图 1 所示。

计数式频率计的显示屏上可直接读出特征频率的测量结果。该结果也可用配套的打印机打印出来。

注:测量时,应附加误差倍增器,以减小测量误差。

7.1.1.2 高精度测量

a. 直接计数法

按 5.1.2 条规定选择计数式频率计,框图如图 1 所示。测量方法同 7.1.1.1 条。

b. 示波器法

此方法适用于 30 MHz 以下发射频率的测量。测量框图如图 2 所示。

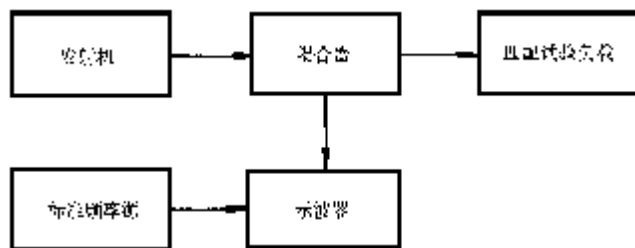


图 2

发射机在无调制的情况下按规定方法调机,待其达到规定的预热时间后将被测特征频率信号加到示波器 Y 轴上,标准频率源的输出信号加到示波器的 X 轴上。改变标准频率源的输出频率,当示波器上显示稳定的斜直线、斜椭圆或圆时,说明两信号频率相等,但二者间保持一个固定的相位差。由标准频率源读出的频率即为被测的发射频率(特征频率)。

注:标准频率源频率的精度(准确度和稳定度)应至少高于待测频率的频率容限或频率稳定度两个数量级。

7.1.2 H3E、R3E、J3E、B8E 及 C3F 类发射

对于全载波(H3E)、部分抑制载波(R3E)、全抑制载波(J3E)单边带发射机,以及独立边带(B8E)发射机,其设备发射频率测量各项内容可按 GB 6933 中的有关部分进行,电视图象广播(C3F)发射机可按 GB 6277 的 5.3 条有关内容进行。本款各类发射也可按本标准 7.1.1 款内容进行。

7.1.3 F1B、F3E、F3C 类发射

对于移频电报(F1B)、调频电话或调频广播(F3E)、调频传真(F3C)等类发射,其设备发射频率测量可按 GB 6277 的 6.3 条内容进行。也可按本标准 7.1.1 条内容进行。

7.2 空中电波的频率测量

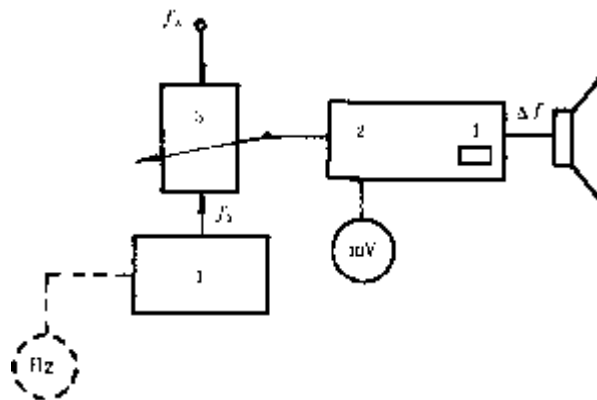
空中电波的频率测量由监测台(包括固定监测台和车载移动监测台)进行。所有监测台除了按设备测量配备频率测量仪表外,还应按 6.2 条要求配备辅助的监测接收机。

7.2.1 A1A 类发射

7.2.1.1 拍频法测量

用拍频法测量空中电波频率的框图如图 3 所示。待测电波频率 f_x 与可变振荡器 1 给出的已知频率 f_0 同时送到接收机的均衡电路了。当 f_0 与待测频率 f_x 不不同时,在接收机音频输出端便产生差频。调整 f_0 ,当差拍为零时,说明待测频率 f_x 与 f_0 相等。如果可变振荡器不能精确地读出频率 f_0 ,则由数字频率计读出 f_0 的数值。

当频差很小时,由于接收机音频部分对低频响应较差,使测量结果误差较大。使用拍频振荡器可提高测量准确性。拍频振荡器可以通过改变差拍单音振幅用音响指示出很慢的差拍。在许多情况下能测量输入电压的仪表便足以观察差拍。



1—可变振荡器,最好是频率合成器;2—带有拍频振荡器的 A1A 类接收机;
3—均衡电路。均衡天线来的电压与可变振荡器的输入电压比例;4—接收机
本地中频振荡器; f_0 —可变振荡器的频率; f_x —待测频率;

$$\Delta f = f_x - f_0$$

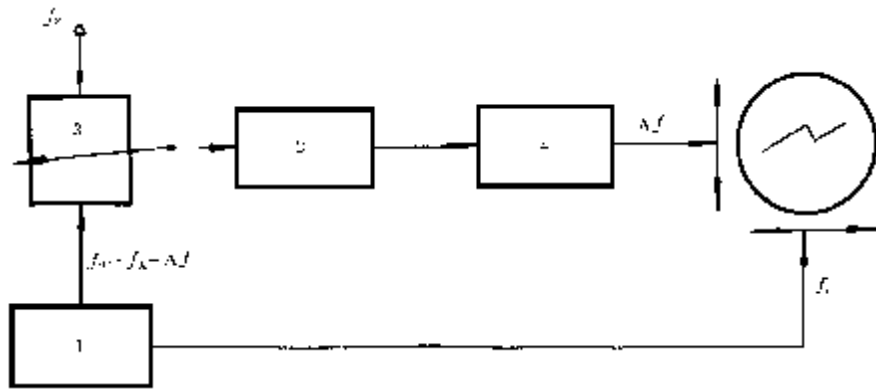
图 3

7.2.1.2 频率偏置法(示波器法)测量

频率偏置法适用于 30 MHz 以下电波频率的测量。测量设备框图如图 4 所示。将图中可变振荡器的频率降低(或升高)1 000 Hz。将接收机输出端得到的 1 000 Hz 差频和 1 000 Hz 的标准频率分别送到示波器的 X 轴和 Y 轴放大器。如果差频恰好等于 1 000 Hz 标准频率,由于相位差的不同,在荧光屏上可以显示出圆、椭圆、斜直线几种稳定的李沙育图形。

如果差频不是恰好等于 1 000 Hz 标准频率,在示波器的屏幕上显示出转动的椭圆。椭圆旋转的速度与频率差值成正比,每秒转一圈相当于 1 Hz 的差频。

为了确定差频的符号,示波器的 X 轴偏转由 1 000 Hz(或 100 Hz)标准频率来触发(时基调定在,例如每个分度为 0.1~1 ms),而接收机输出差频加到 Y 轴偏转板上,则该差频的符号可以由正弦轨迹的移动方向观看出来。如果差频高于标准频率,则正弦轨迹向左移动。



1—可变振荡器,最好是频率合成器;2—带有拍频振荡器的A1A类接收机;
3—均衡电路。均衡天线来的电压与可变振荡器的输入电压比例;4—接收
机本地中频振荡器; f_0 —可变振荡器的频率; f_x —待测频率;

$$\Delta f = f_x - f_0$$

图 4

应当进一步确定在椭圆稳定时可变振荡器频率 f_0 是否高于(或低于)被测频率 f_x 1 000 Hz,这可以由下述方法之一来确定:

方法 1:图 4 中滤波器 4 输出端的差频 Δf 可由听觉(接扬声器或耳机)或由计数式频率计来监视。当可变振荡器频率 f_0 向上调整时,如果差频 Δf 也是升高(或降低)的,则可变振荡器的频率高于(或低于)被测频率 f_x ;反之,当可变振荡器的频率向下调整时,如果差频 Δf 是升高(或下降)时,则可变振荡器的频率 f_0 低于(或高于)被测频率 f_x 。

方法 2:将可变振荡器恰好调偏 2 000 Hz。如果在向上调偏 2 000 Hz 时,椭圆再次稳定下来,则初始调整位置(椭圆稳定)为 f_0 比被测频率 f_x 低 1 000 Hz;反之,如果 f_0 向下调偏 2 000 Hz 时,椭圆再次稳定下来,则初始调整位置为 f_0 比被测频率 f_x 高 1 000 Hz。

7.2.2 A3E、A3C、R3E、H3E、B8E 以及 J3E 类发射

A3E 类双边带调幅信号、A3C 类双边带调幅传真信号、R3E 类部分抑制载波单边带信号、H3E 类全载波单边带信号、B8E 类部分抑制载波独立边带信号的共同特点是其电波信号中均含有载频(全部或部分)分量。它们除载频分量外,还含有上和(或)下边带分量,其载频测量可采用图 4 所示框图。测量方法同 7.2.1.2 条。差频由可变振荡器频率 f_0 与待测的接收信号载波频率 f_x 产生。由接收机与示波器之间接入的窄带滤波器 4 滤除因调制而引起的不需要的混频产物。调整可变振荡器频率 f_0 使椭圆达到稳定。

J3E 类发射电波的测量,在接收机收到 J3E 信号时,接收机不能置于 J3E 类方式工作。将辅助信号(由可变振荡器,最好是由频率合成器提供)送至接收机输入端,调整辅助信号使接收机输出音频信号没有失真(或失真最小)。此时读出(如不能直接读出,则另用计数式频率计测出)的辅助信号频率即为所接收信号的载波频率。

7.2.3 F3E、F3C、F1B 类发射

F3E 类调频电话、F3C 类调频传真信号的电波频率测量设备连接框图如图 5(a)或图 5(b)所示。

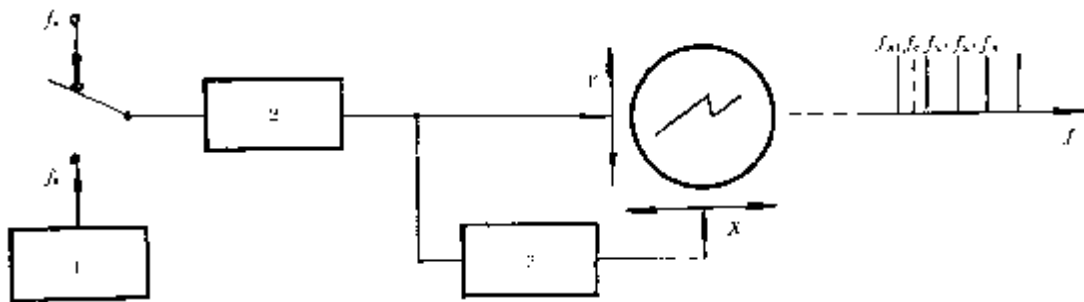


图 5(a) 与可变振荡器的输出频率比较

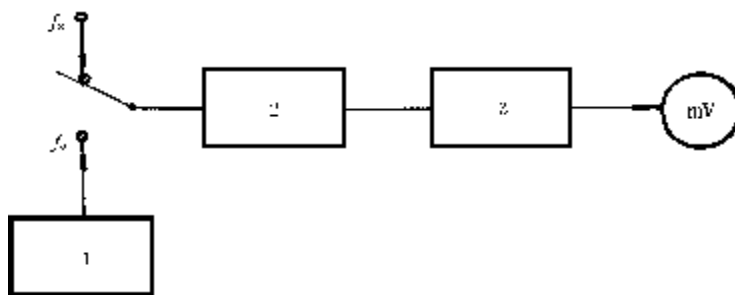


图 5(b) 利用可变振荡器进行的频率比较

1—可变频率振荡器,最好是频率合成器;2—接收机;3—连接到接收机中频级的鉴频器; f_c —调频信号的载频; f_0 —可变频率振荡器(或频率合成器)的输出频率; $f_x, f_{x1}, f_{x2}, f_{x3}, f_{x4}$ —接收到的频率

7.2.3.1 将鉴频器接在接收机的中频级的输出端。鉴频器的输出接到示波器的 X 轴放大器上,而把中频级的输出接到 Y 轴放大器上,如图 5(a)所示。所接收的调频信号每一个频率分量,在示波器上显示出一条垂直线。每一对旁频分量都是以载频 f_c 为中心上下对称出现的。因此,在示波器上容易确定载频 f_c 的位置。待测信号 f_x 与可变振荡器(频率合成器)输出频率 f_0 交替地送到接收机的输入端,细心调整 f_0 ,使之与 f_c 在示波器上的位置完全重合。此时,所测出的可变振荡器的频率 f_0 即为被测信号载频 f_c 。此方法测量的准确度大约为 ± 10 Hz。

7.2.3.2 测量设备的连接如图 5(b),鉴频器输出接电平指示器。当接收到一个 F3E 或 F3C 信号使电平表指示某一数值时(例如校准到 0 电平),该电平代表了接收信号的载频值。然后,将接收机的本振频率锁定,接收机输入端开关倒向可变频率振荡器,调整可变频率振荡器(频率合成器)频率至电平表指示相同的数值为止。此时,可变振荡器(频率合成器)读出的频率 f_0 即为接收信号载频 f_c 。

7.2.3.3 F1B 类移频键控信号。根据 GB 12572 附录 B,推荐采用空号频率作为特征频率(也可采用传号频率)。空号频率与传号频率标称值的算术平均值与指配频率吻合。F1B 信号的特征频率测量方法可按图 5(a)方法进行。示波器上空号和传号两个频率分量分别占有确定的位置。可变振荡器接入接收机的输入端。改变可变振荡器(频率合成器)的输出频率 f_0 ,使之在示波器上的位置与空号频率或传号频率的位置重合,读出可变振荡器(频率合成器)的频率 f_0 ,即为所测 F1B 的特征频率。

F1B 信号载频的确定:根据上面测定 F1B 信号的空号频率 f_{c1} 和传号频率 f_{c2} ,F1B 信号 f_c 为: $f_c = (f_{c1} + f_{c2})/2$, f_c 对应于该发射的指配频率。

附 录 A
频率测量的误差分析
(补充件)

A1 计数式频率计的测频误差

计数式频率计测量频率所产生的测量误差由下式(A1)给出:

$$\Delta f_x / f_x = \pm 1 / (T f_x) - (\Delta f_0 / f_0) \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中:

- $\Delta f_0 / f_0$ ——闸门开始时间的相对误差, 10^{-6} ;
- f_0 ——标准频率, Hz;
- Δf_0 ——标准频率的读数误差与最大漂移之和, Hz;
- $1 / (T f_x)$ ——计数式频率计的“ ± 1 误差”, 10^{-6} ;
- T ——闸门开启时间, s;
- f_x ——待测频率, Hz;
- Δf_x ——待测频率的测量误差值, Hz。

A2 示波器法的测频误差

图 2 所示的示波器法也称李沙育图法。如果椭圆(或斜直线、圆)是稳定的,说明待测频率与标准频率的数值是相同的。二者之间仅保留一固定的相位差。如图形呈周期性变化,说明待测信号与标准信号之间的相位差是变化的,也即待测频率 f_x 与标准频率 f_0 之间有一差值 $F (\approx f_x - f_0)$ 。椭圆图形转动一次所需时间相当于 1 Hz 差频的周期。频差 F 越大,椭圆转动越快,总的测量误差为:

$$r_f = |n \Delta t_n / f_0 t_n^2| + |\Delta n / (f_0 t_n)| \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中: n ——椭圆转动的圈数;

Δn ——椭圆旋转圈数的观测误差;

t_n ——椭圆转动 n 圈所需时间, s;

Δt_n ——秒表测 n 圈人手反应时间误差, s。

附 录 B
多普勒效应对测量准确度的影响
(参考件)

B1 对于空间电波频率的监测,多普勒(Doppler)效应对频率测量准确度的影响主要表现在两个方面。

一是对短波(HF)频段远距离通信,它是通过高空电离层对电波的反射作用实现电波传播的。电离层是一个不稳定的反射体,它受年份、季节、一天中的不同时间、通信距离等因素影响很大,其结果是接收信号频率相对于发射频率产生频移,从而降低了监测台测得的发射频率准确度。例如,对于一次跳跃,频率变化在 2~6 Hz 之间,而对于需 n 次跳跃的远距离通信,频率变化还需乘以 n 倍。

二是对于移动测量,它包括发射机安装在高速运动的移动体(如航空器、火车、汽车、舰船等)内,和

(或)收信机(含监测台)安装在高速运动的移动体内的电波频率同样会发生多普勒频移。频移的最大值为 $\Delta f_m = \pm v/\lambda$, v 为移动体的运动速度, λ 为工作波长。工作频率越高,运动速度越快,多普勒频移就越大。这时,测量的准确度大大降低。因此,如监测台安装在移动体(如汽车)内,应在移动体处于静止状态下进行测量,以利于提高测量的准确度。

附加说明:

本标准由国家无线电管理委员会提出。

本标准由国家无线电管理委员会办公室归口。

本标准由北京邮电大学无线电工程系负责起草。

本标准起草人陈宗杰。