

电离层频高图参数提取标准和指南

中国科学院地质与地球物理研究所

“电离层历史资料编研”项目组

2009 年 12 月 28 日

目 录

1. 电离层频高图概述.....	1
2. 电离层频高图参数及判读指南.....	4
2.1 电离层频高图.....	4
2.2 电离层频高图参数及判读.....	5
2.2.1 参数 1: f_{min}	5
2.2.2 参数 2: f_oE	8
2.2.3 参数 3: $h' E$	15
2.2.4 参数 4: Es 类型.....	18
2.2.5 参数 5-6: f_oE_s 和 $h' E_s$	23
2.2.6 参数 7: f_bE_s	33
2.2.7 参数 8: f_oF1	41
2.2.8 参数 9: $h' F$	45
2.2.9 参数 10: $h' F2$	50
2.2.10 参数 11: f_oF2	53
2.2.11 参数 12: f_xI	61
2.2.12 参数 13: M 因子.....	64
2.3 参数限量符号与说明符号.....	64
3. 电离层数字频高图标准文档输出 (SAO) 格式.....	66
3.1 引言.....	66
3.2 SAO 格式 4.3 版本.....	67
3.3 数据索引 Data Index.....	68
4. 电离层数字频高图观测报表 IIWG 格式.....	89
5. 结束语.....	90
6. 附录: 参考文献.....	90

1. 电离层频高图概述

电离层垂直探测方法是电离层观测研究历史最为悠久，迄今仍广泛使用的手段。1924年，英国的阿普尔顿（Appleton E. V.）等通过向上发射不同频率的无线电连续波，得到回波而直接证实了电离层的存在。次年美国的布雷特（Breit G.）和图夫（Tuve M. A.）也使用垂直向上发射无线电脉冲波的方法，接收到来自电离层的回波，至此开创了利用无线电探测方法研究电离层的时代(Appleton, 1928,1930)，其探测方法称电离层无线电垂直探测方法（简称电离层垂直探测），根据这个原理发明的观测设备称为电离层测高仪。其工作原理是通过垂直发射扫频高频脉冲波（一般 1.0 — 30.0MHz），当电波频率等于电离层等离子体频率时，信号发生反射，测量从电离层反射回波到达接收机的时间延迟，获得各频率点电离层虚高，这种由电离层测高仪记录的数据称频高图（也称电离图），它是电离层反射信号回波虚高随频率变化的图形曲线，如图 1.1。反映了电离层特性和结构，可获得多种电离层参量等信息，并反演得到峰下电离层电子浓度剖面等信息，对电离层等相关科学的发展起了重要作用。就在人造卫星上天，开展电离层直接探测的今天，它仍以连续、方便和可信等优点在电离层探测研究中发挥重要作用。

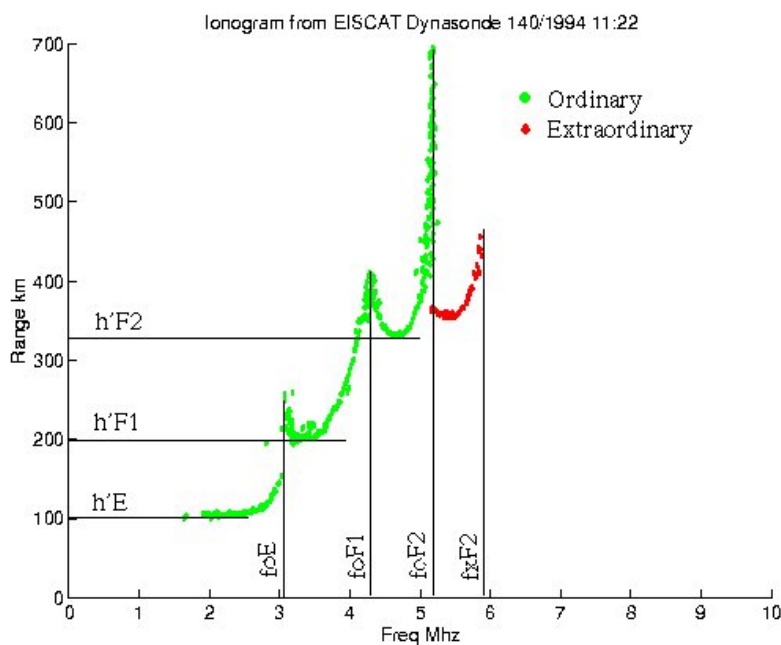


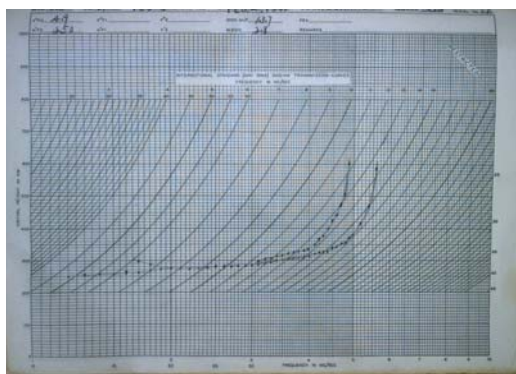
图 1.1 电离层频高图

电离层测高仪伴随着电离层的发现和观测研究的整个过程，在这 80 余年的历史中，按电离层测高仪获得的频高图记录方式通常可分为三个阶段：

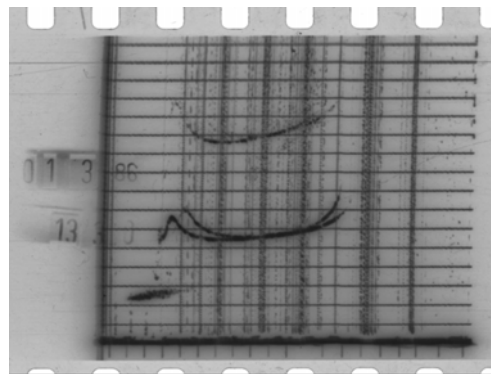
从早期上世纪二十年代末期到上世纪三十年代末期的十年中，频高图的获得采用利用阴极射线管将电离层测高仪回波信号以 A 方式显示，通过人工调谐电离层测高仪工作发射频率，测量回波信号在阴极射线管上位置，根据电子束扫描速度，可得到对应工作频率的回波信号虚高，从 1MHz 开始按一定频率间隔（通常 0.1MHz）逐点进行这种测量，直到 30MHz（根据电离层临界频率选定最高扫描频率，一般低于 30MHz），获得一条电离层回波虚高随频率的曲线（通常电离层回波有几条描述），经人工处理分析可获得电离层的重要参数。通常这种手动人工观测方式获得一张频高图，即使是很熟练观测员操作也需近 10 分钟。

在二次世界大战对高频通信需求的推动下，电离层测高仪的频高图记录方式也发生了革命性的变化，利用电动机带动空气式可变电容器进行频率调谐，自动进行电离层测高仪工作频率扫描，同时阴极射线管将电离层测高仪回波信号以 B 方式显示，并采用照像技术，记录阴极射线管上电离层测高仪工作过程中信号回波的描述，每当电离层测高仪自动扫频工作一次，就照相记录一张胶片频高图，并在胶片上留下观测时间和标度，一次工作完后电动机带动胶卷走动到下一张空白胶片位置。这种自动照相方式大大减轻了电离层测高仪观测工作的强度，提高了频高图的质量和信量。但对照相的胶卷需人工冲洗，放到专用投影仪上进行人工电离层参数度量读取，填写电离层参数日报表等。这种工作方式的电离层测高仪称为自动电离层测高仪（简称自动测高仪），这一过程持续到上世纪八十年代末到九十年代初，有近 50 年的观测历史。

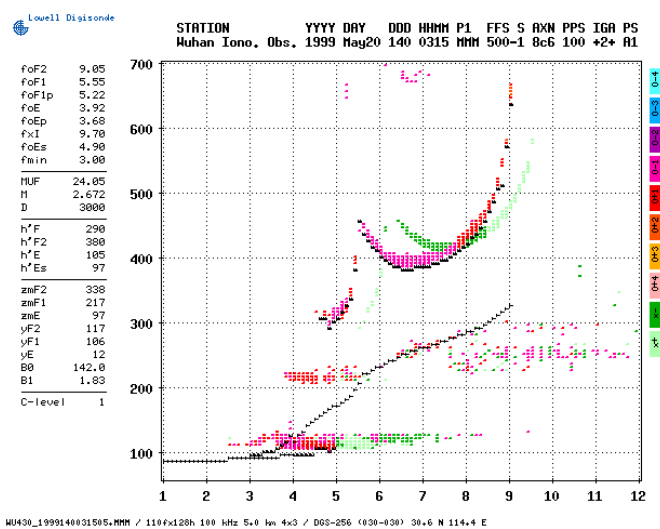
在微电子技术，计算机技术和电离层空间天气研究与应用需求的共同推动下，电离层测高仪的频高图记录又一次发生重大变化，采用数字频率合成技术，数字采样技术和计算机信号实时处理分析技术等，完成了电离层频高图从模拟方式转化为数字频高图，利用磁带，磁盘和光盘等媒体存储，并发展了相应的多种数字频高图自动分析方法和技术，实现了频高图的自动度量和分析。由于电离层变化的复杂性，数字频高图自动分析方法和技术仍在完善和发展中。当前，数字频高图的自动度量和分析还不能完全取代人工分析，但已代替了过去需要大量人工度量和分析的工作。现在通常是对已自动度量分析的数字频高图，利用专门软件由人工进行检查和校正，获得最终可靠的电离层参量和电离层电子浓度剖面等。电离层测高仪记录方式从胶片频高图到数字频高图的转换过程发生在上世纪 80 年代初到 90 年代初之间。也就是说。在电离层测高仪 80 多年的观测历史中，采用模拟记录方式有 60 年的历史，其中用胶卷记录频高图约有 50 年，而数字频高图记录只有 20 多年的历史。目前，国际、国内数字频高图已完全取代胶卷频高图记录方式。图 1.2 给出了手动绘制，自动胶片和数字记录的三种频高图。



(a)



(b)



(c)

图 1.2 三种不同记录形式的电离层频高图

(a) 人工手动观测绘制，(b) 自动胶卷记录观测，(c) 数字式自动观测

2. 电离层频高图参数及判读指南

2.1 电离层频高图

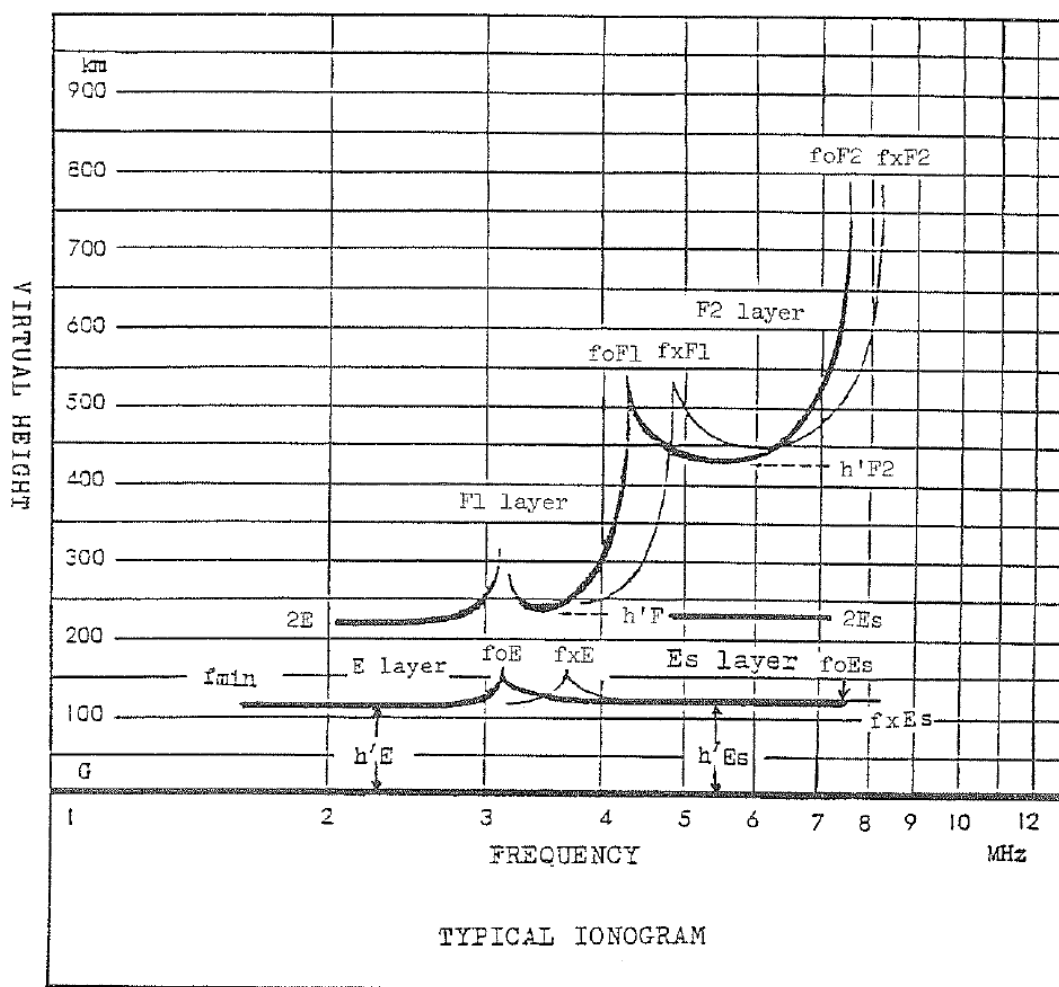


图 2.1. 理想的频高图

图 2.1 给出一张理想的典型频高图。我们需要判读的 13 种参数，包括 7 种频率参数 (f_{min} , f_oE , f_oEs , f_bEs , f_oF1 , f_oF2 , f_xI), 4 种高度参数 ($h'E$, $h'Es$, $h'F$, $h'F2$), 以及 M 因子 ($M3000F2$, $M3000F1$) 和 Es 类型。

2.2 电离层频高图参数及判读

2.2.1 参数 1: f_{min}

f_{min} 是频高图记录到的反射波的最低频率。

标定精度：0.1MHz。

标定注意之处：

(1) f_{min} 应该基于寻常波描述来标定。建议从频高图记录到的寻常波第一次反射回波描述来标定。

(2) 不考虑非常弱的反射。

(3) f_{min} 不能从 d 型 Es 描述标定，也不能从斜反射描述和突然出现的描述来进行标定。

具体图例：

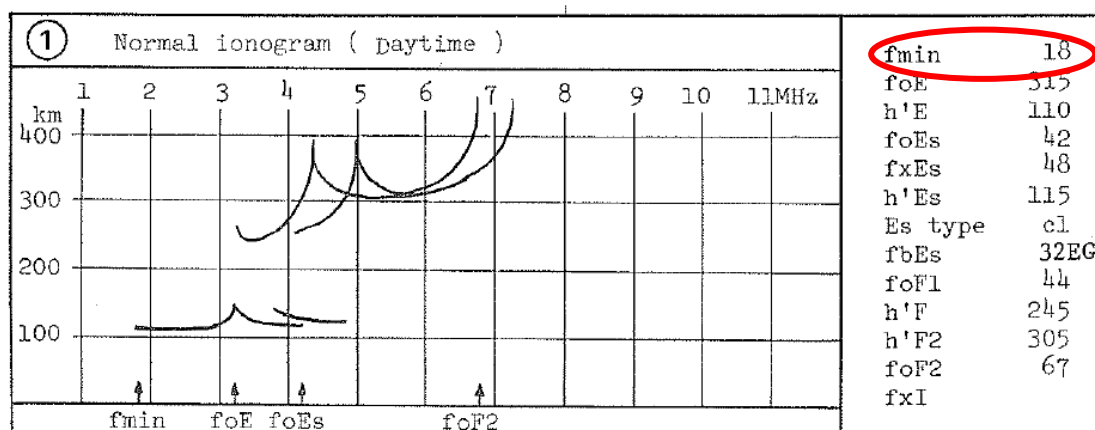


图. 从正常频高图（白天）标定 f_{min}

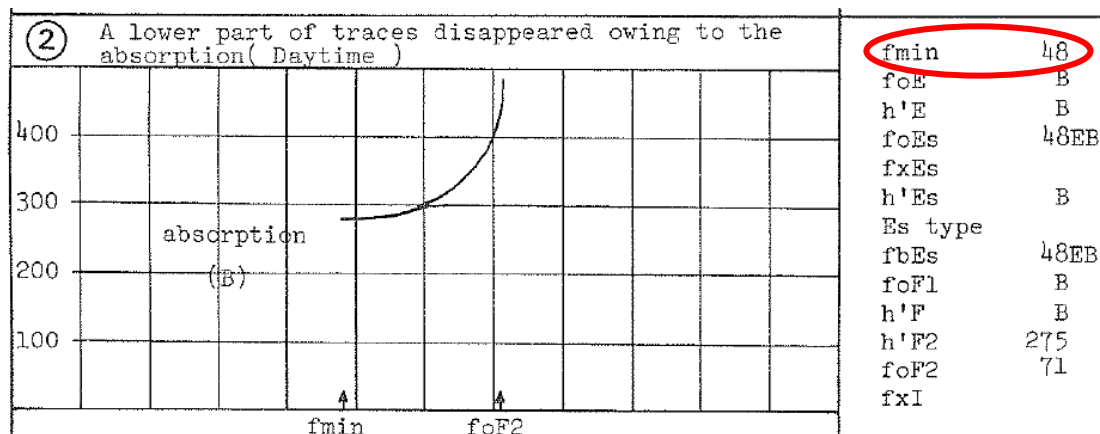


图. 从由于吸收低端描述消失的频高图（白天）标定 f_{min}

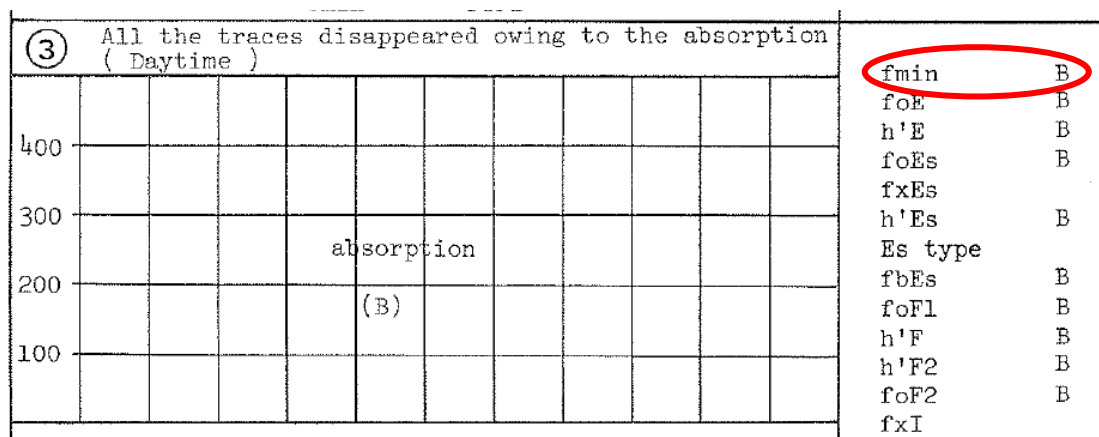


图. 所有描述因吸收消失的频高图(白天)标定 fmin

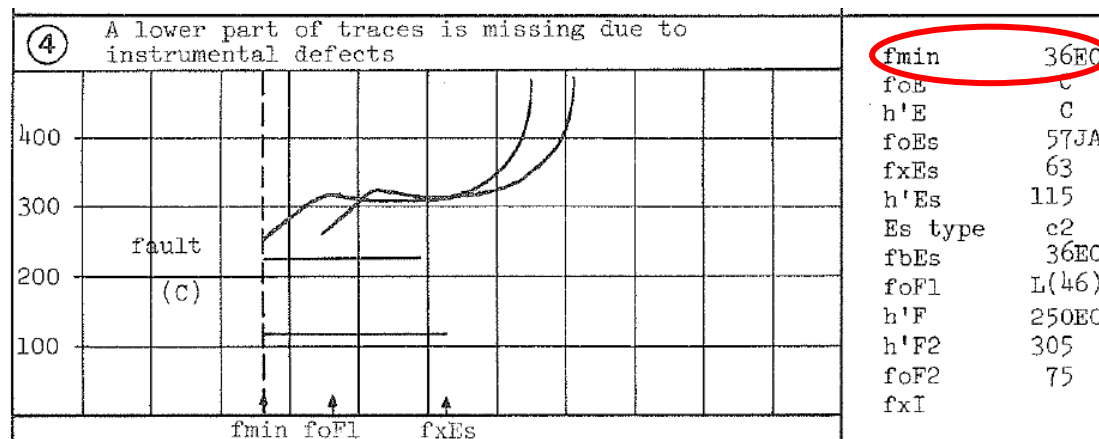


图. 由于设备原因导致低端描述缺失的频高图(白天)标定 fmin

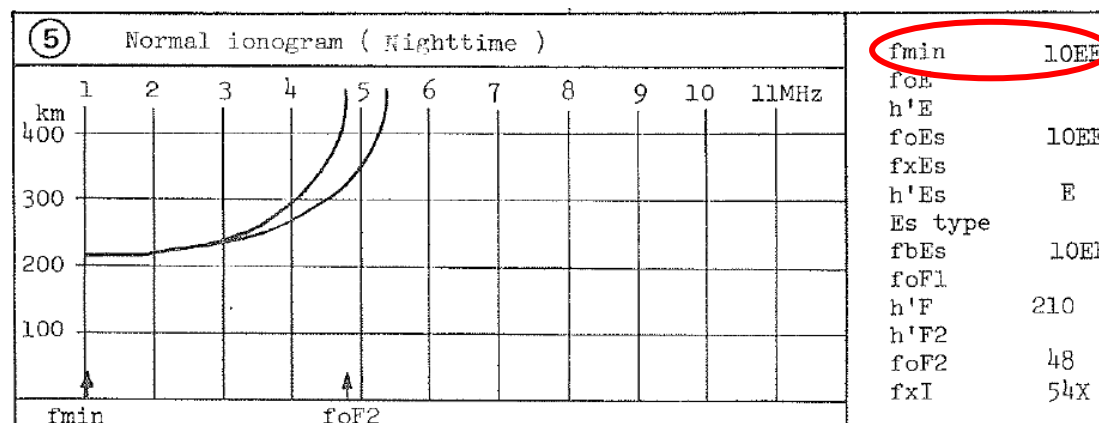


图. 从正常频高图(夜间)标定 fmin

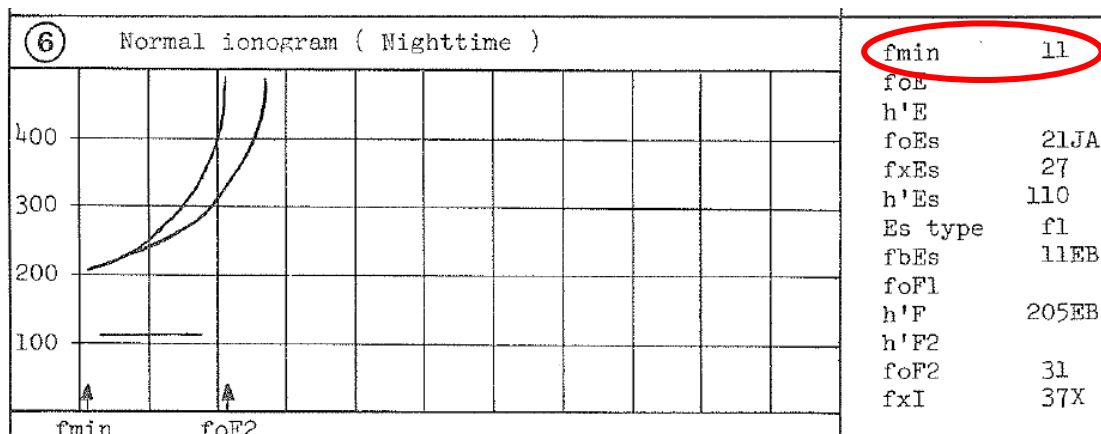


图. 从正常频高图（夜间）标定 fmin

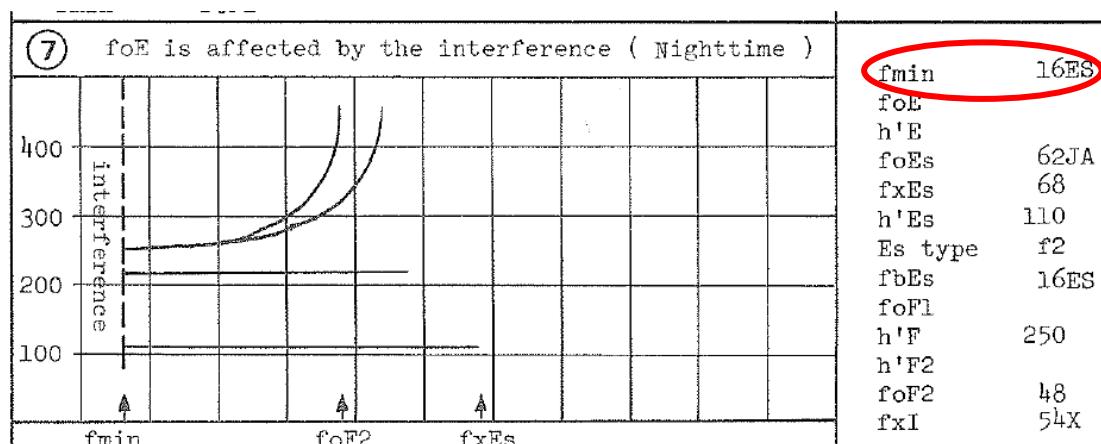


图. 从受干扰频高图（夜间）标定 fmin

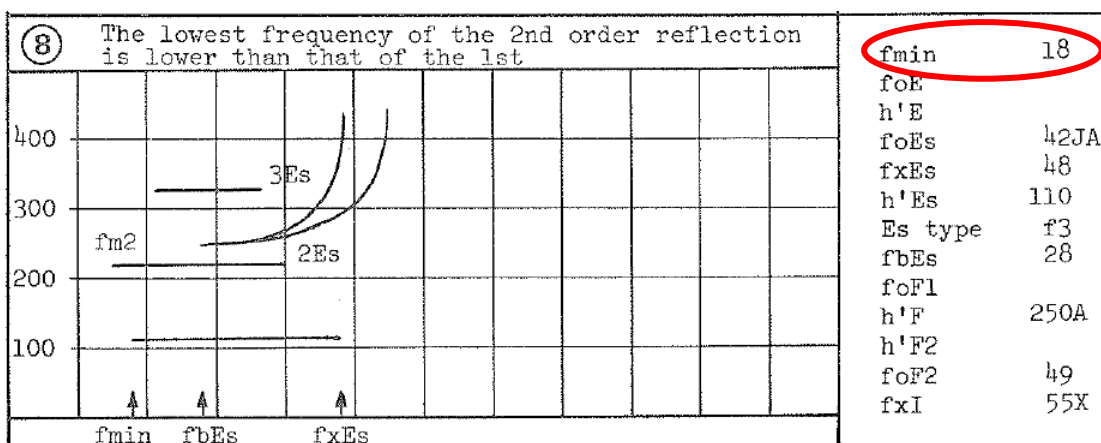


图. 从二次回波最低频率比一次回波低的频高图标定 fmin

2.2.2 参数 2: foE

foE 是 E 层临界频率，是常规 E 层寻常波反射描述的最高频率。E 层描述在该频率上虚高在高度上有突变。

标定精度：0.05MHz。

标定注意之处：

- (1) 注意区分常规 E 层寻常波反射描述和 Es 描述。
- (2) 当观测到粒子 E 层，即使在夜间，也应该进行标定，用说明符号 K。

具体图例：

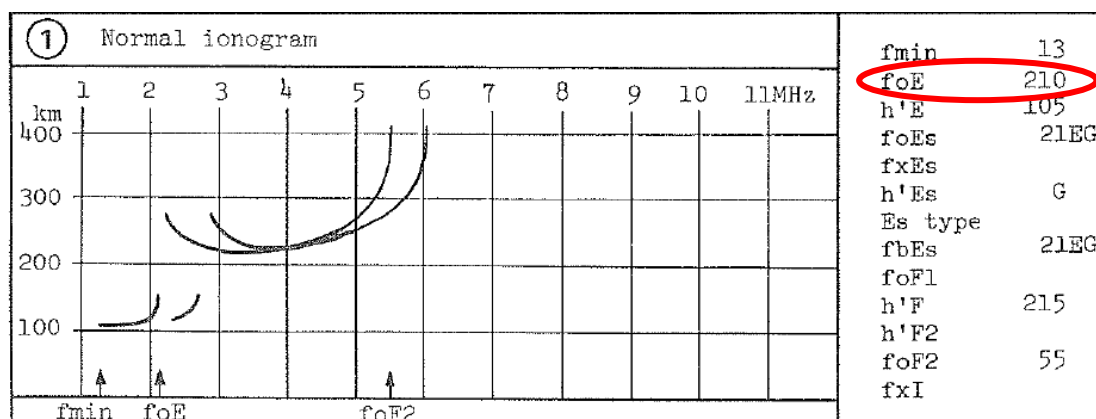


图. 从正常频高图标定 foE

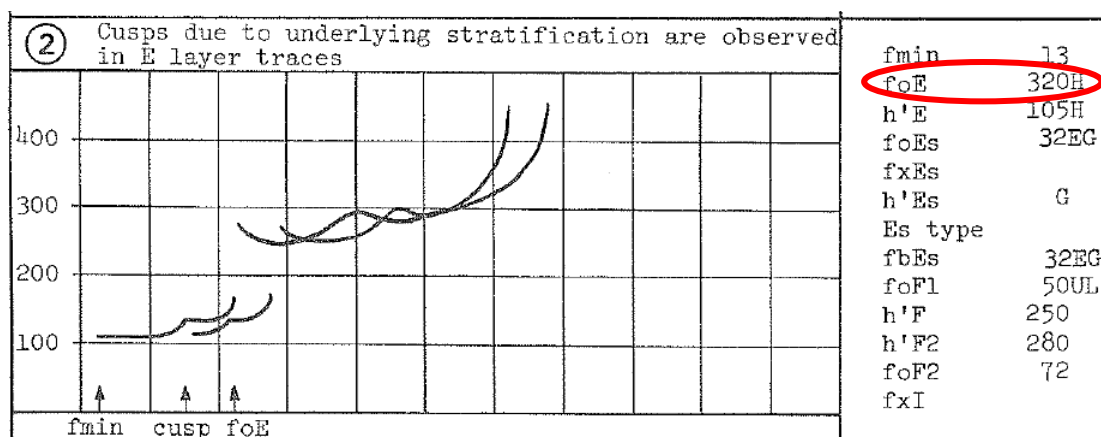


图. 从分层导致常规 E 层描述有尖突的频高图标定 foE

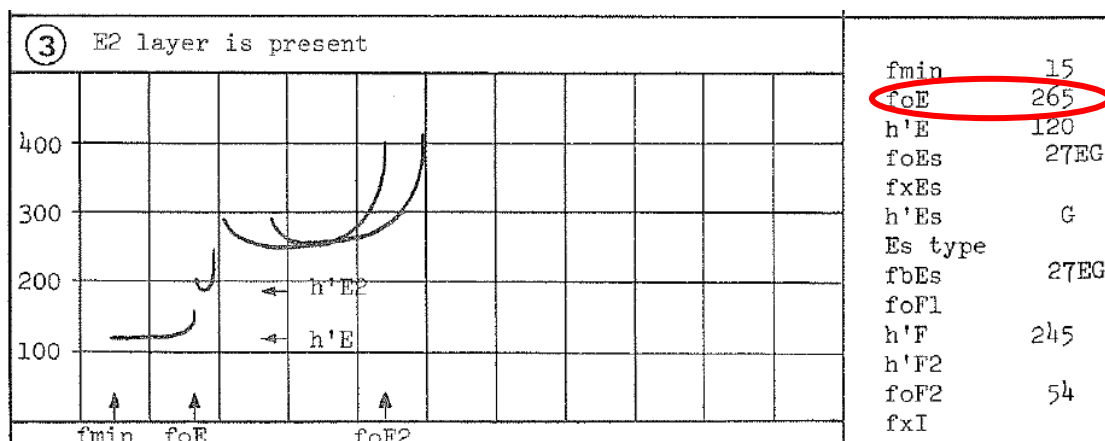


图. 从存在 E2 层描述迹的频高图标定 foE

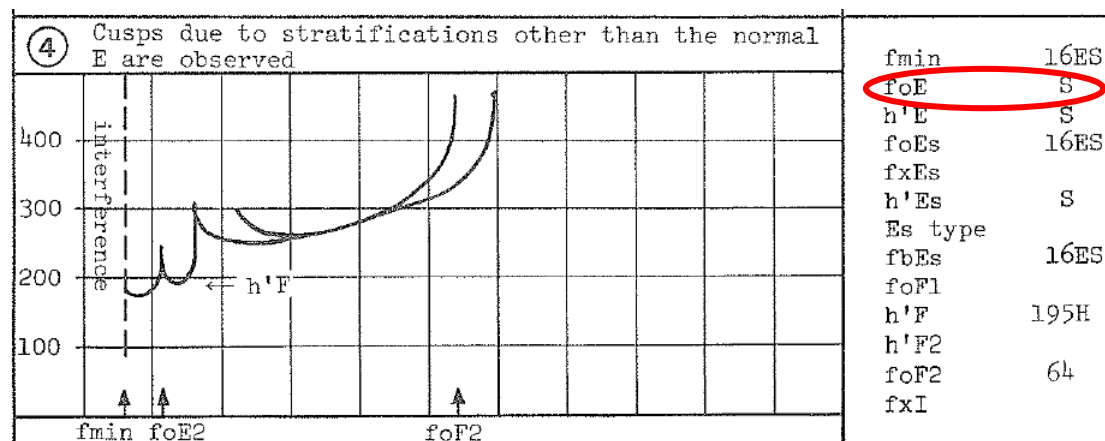


图. 从常规 E 层外分层导致描述迹有尖突的频高图标定 foE

频高图记录有不是常规 E 层描述迹的描述分层（如导致有尖突等），注意到：
 (1) 描述迹的虚高和常规 E 层很不同；(2) 描述迹的频率低端不水平。可能受到干扰导致。

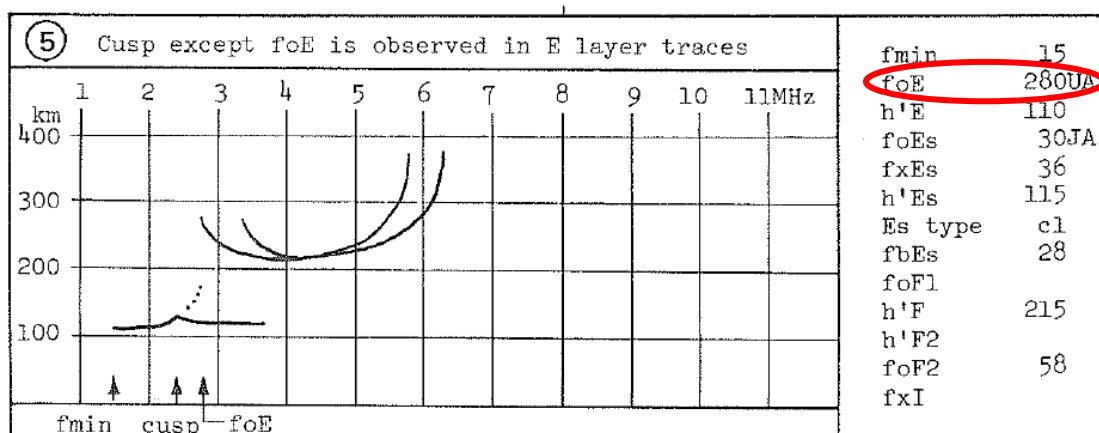


图. 从 E 层描述迹有尖突的频高图标定 foE

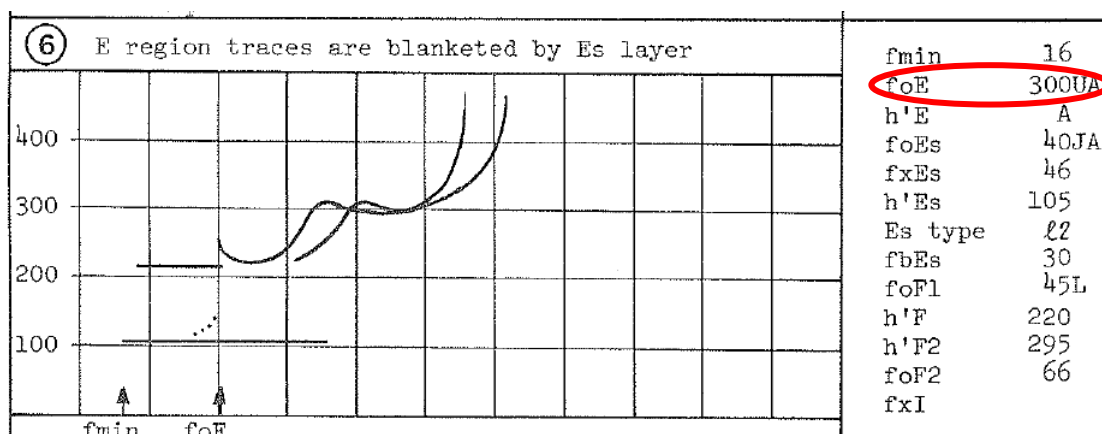


图. 从 E 层描述被 Es 描述遮蔽, 但有 F1 描述的频高图标定 foE

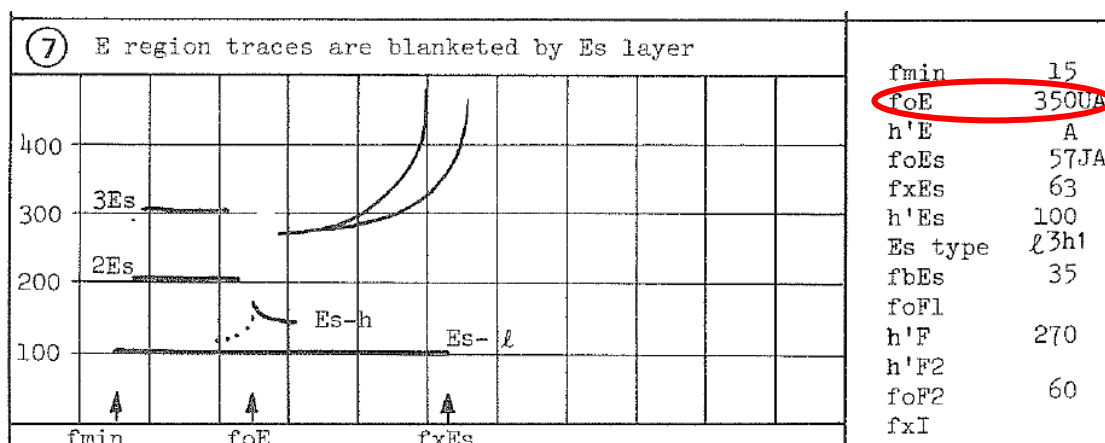


图. 从 E 层描述被 Es 描述遮蔽, 但有 Es-h 描述的的频高图标定 foE

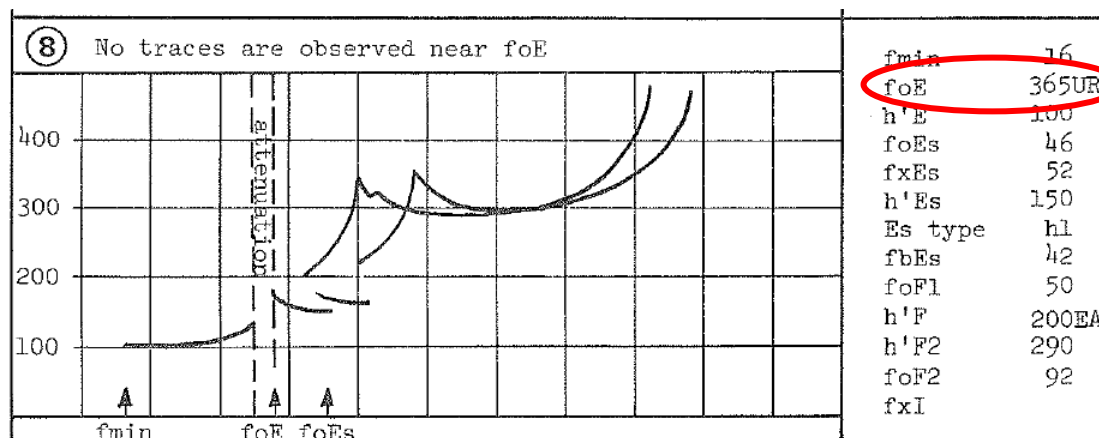


图. 从 foE 附近没有描述的频高图标定 foE

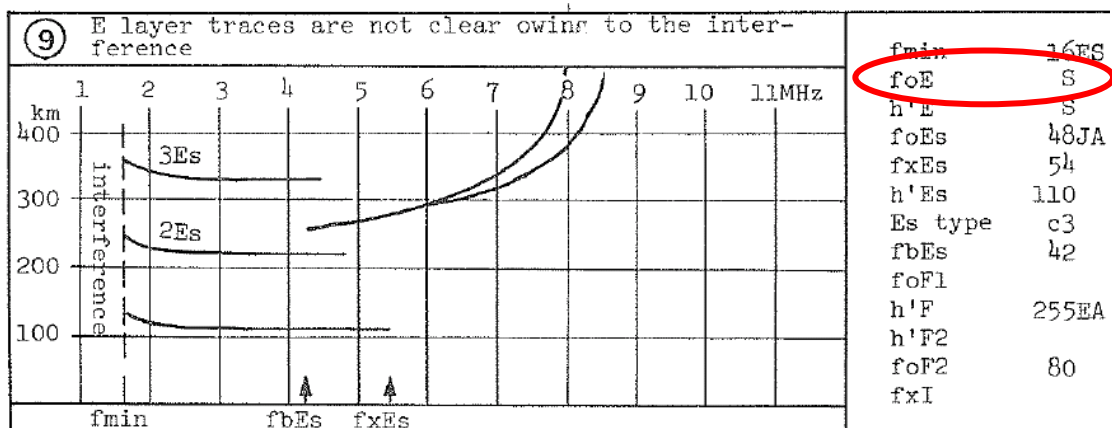


图. E 层描述不清晰的频高图标定 foE

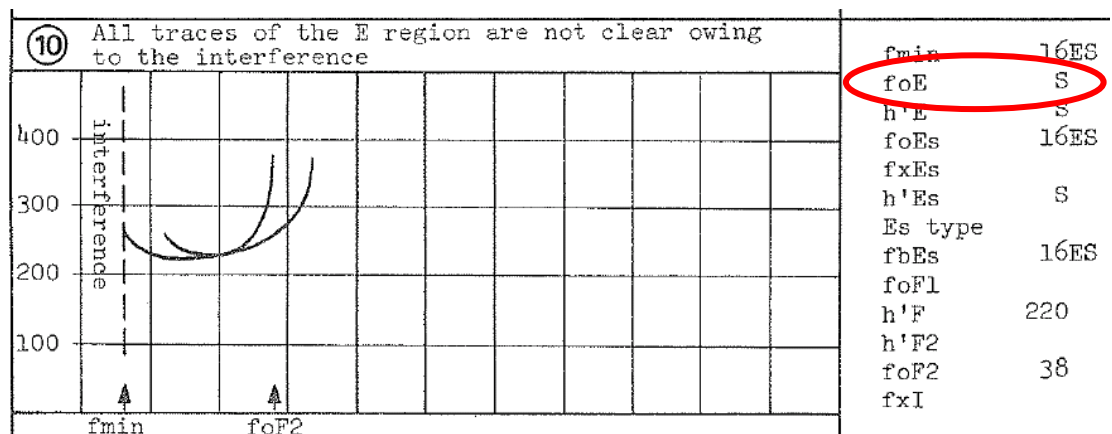


图. 由于干扰导致 E 层所有描述缺失的频高图标定 foE

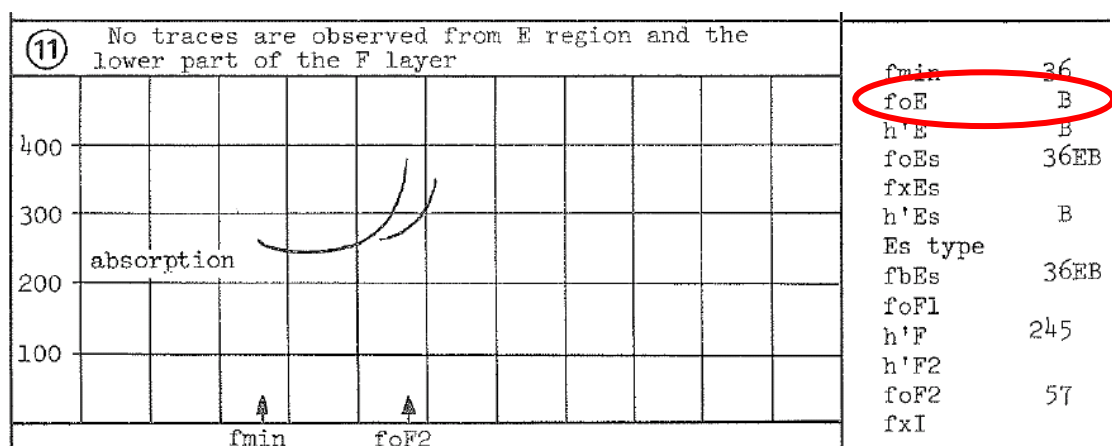


图. 由于吸收导致 E 层和 F 层低端描述缺失的频高图标定 foE

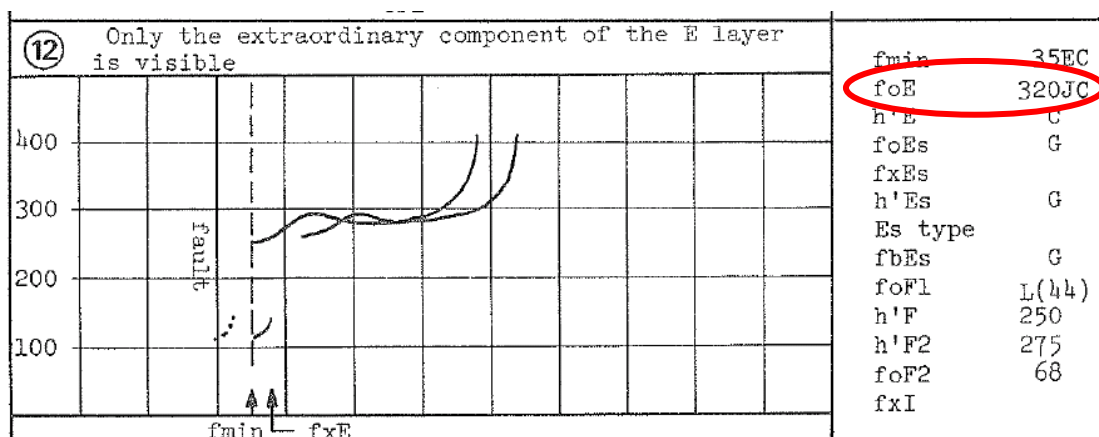


图. 只有 E 层非常波描述的频高图标定 foE

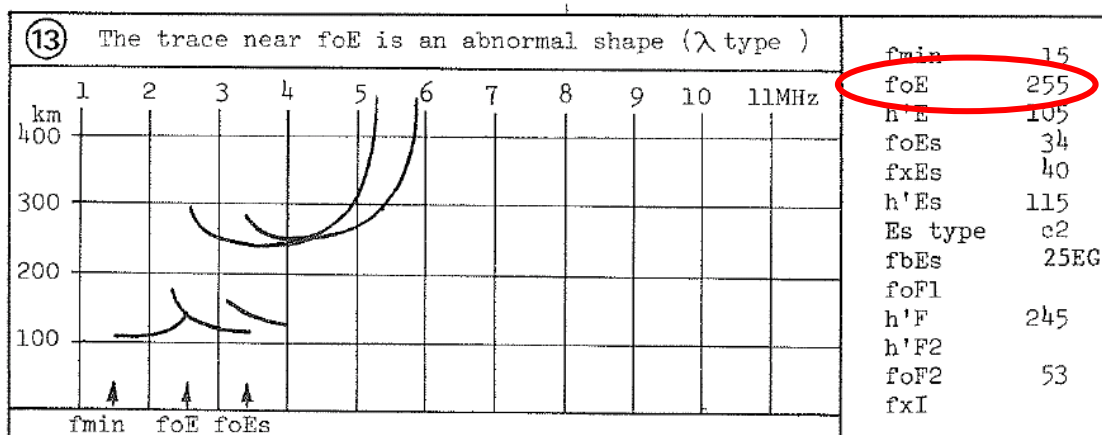


图. foE 附近描述为异常形状的频高图标定 foE

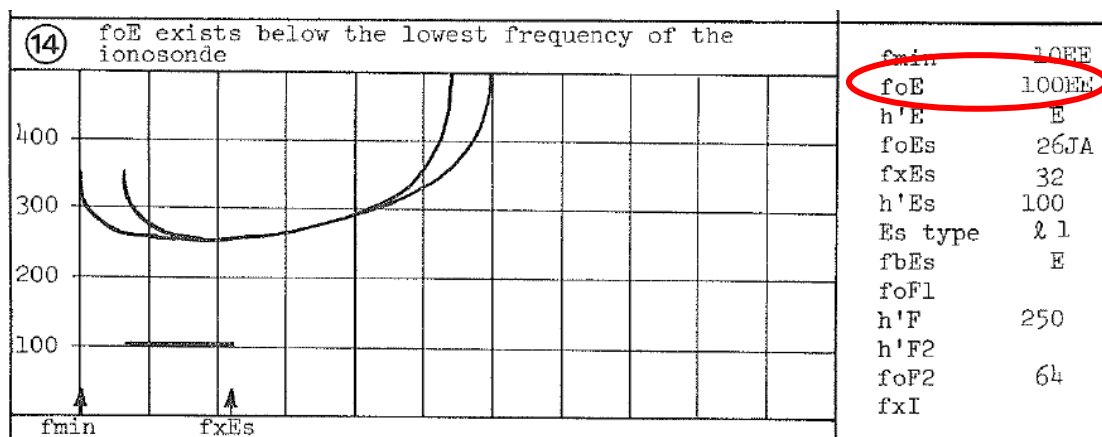


图. foE 低于测高仪最低频率情形下的频高图标定 foE

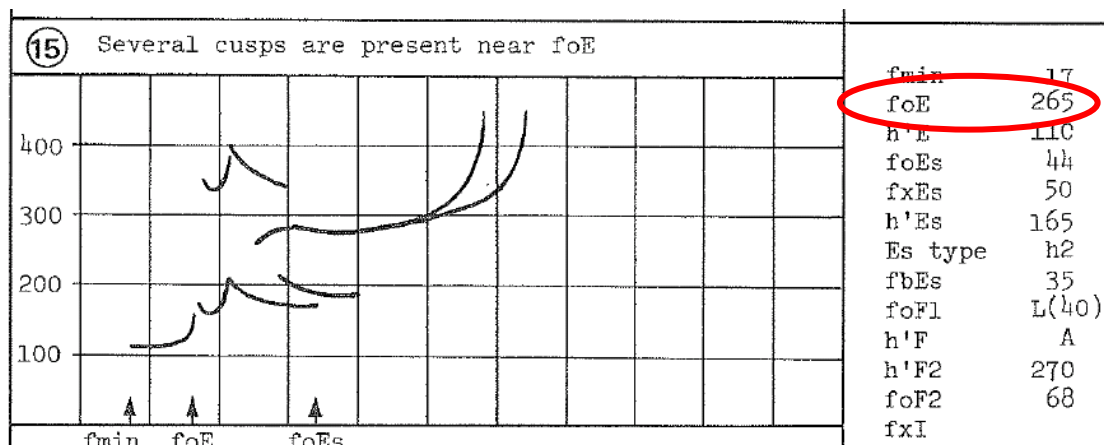


图. foE 附近存在多个尖突情形下的频高图标定 foE

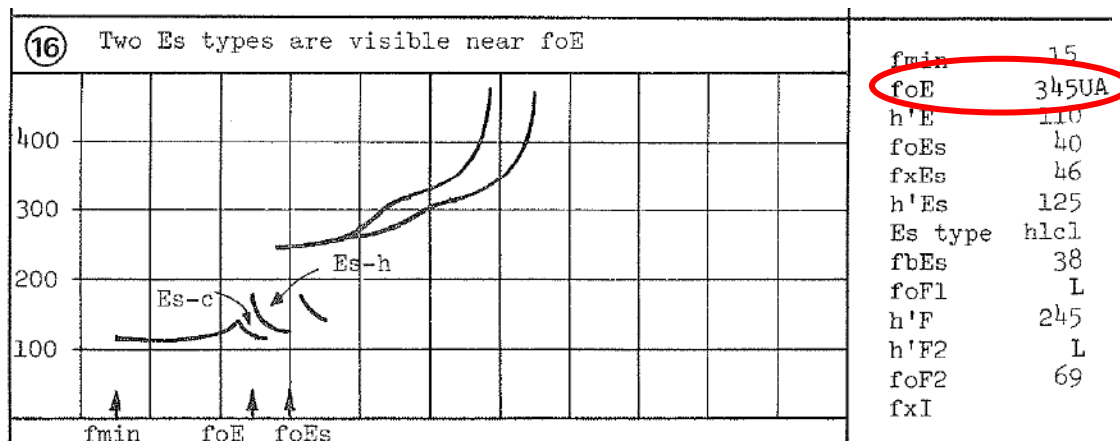


图. foE 附近有 Es 描述情形下的频高图标定 foE

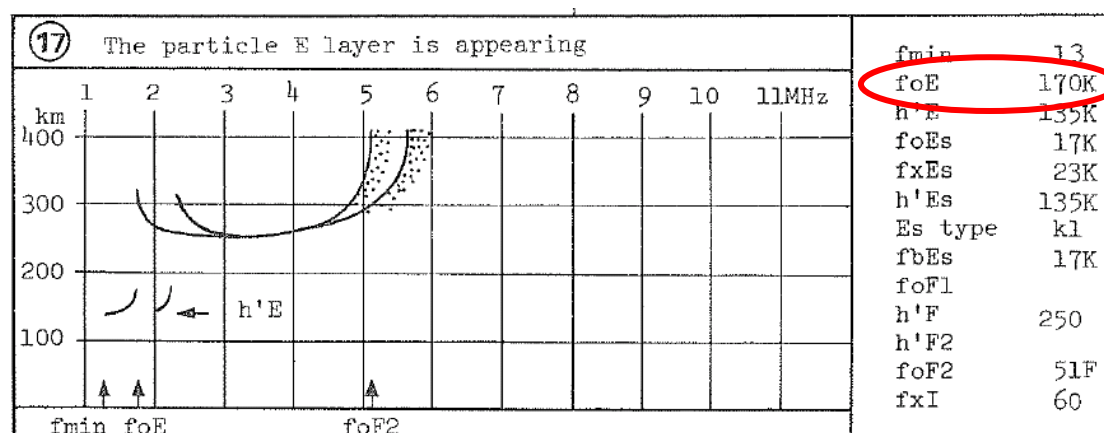


图. 微粒 E 层情形下的频高图标定 foE（出现在夜间，常靠近 fminF，用 K 说明符号）

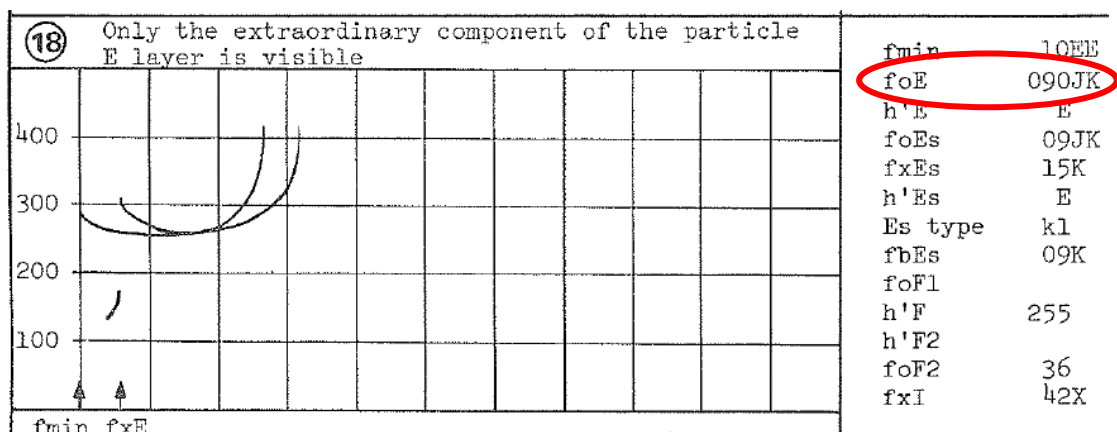


图. 只有微粒 E 层非常波描述情形下的频高图标定 foE

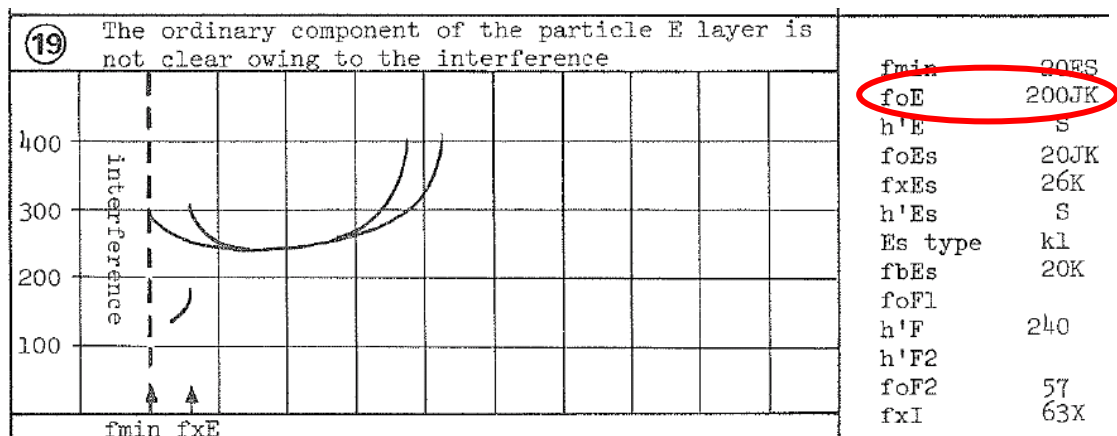


图. 因为干扰微粒 E 层寻常波描述不清楚情形下的频高图标定 foE

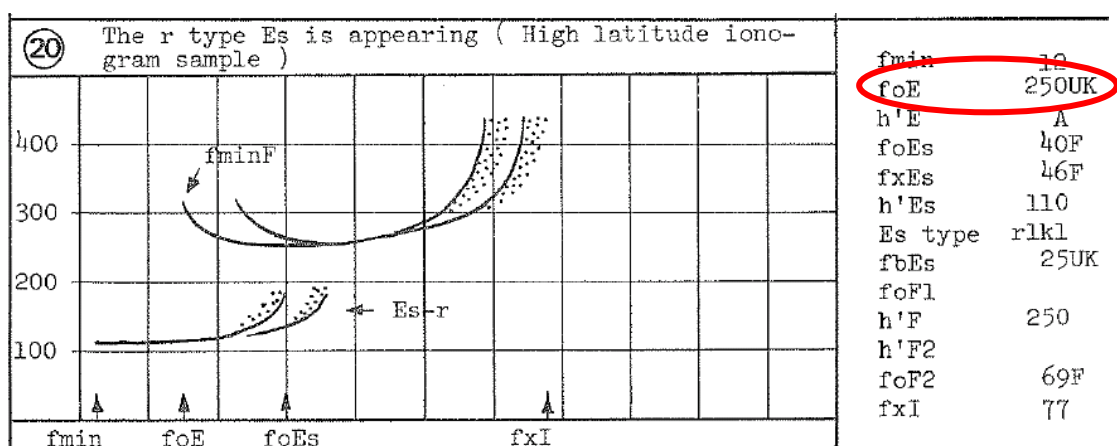


图. r 型 Es 存在时的频高图标定 foE

频高图存在 r 型 Es。r 型 Es 是和常规 E 层形状非常相似的，但可以从和上层描述的低端位置关系来区别。描述的穿透频率高于 f_{minF} 时，该描述判为 r 型 Es！

2.2.3 参数 3: h' E

h'E 是常规 E 层寻常波反射描述的最高虚高。

标定精度: 2 km。

标定注意之处:

- (1) 当高度标志的精度低于±5km 时, h'E 不标定。
- (2) 当 foE 被标定时, h'E 也要标定 (上种情形除外)。

(3) h'E 从发射波描述的水平部分标定。在水平部分不存在的情形, 或者描述被下面的 Es 层遮挡时, 标定值要用相应的限量符号说明。在微粒 E 层情形, 要用说明符号 K。

具体图例:

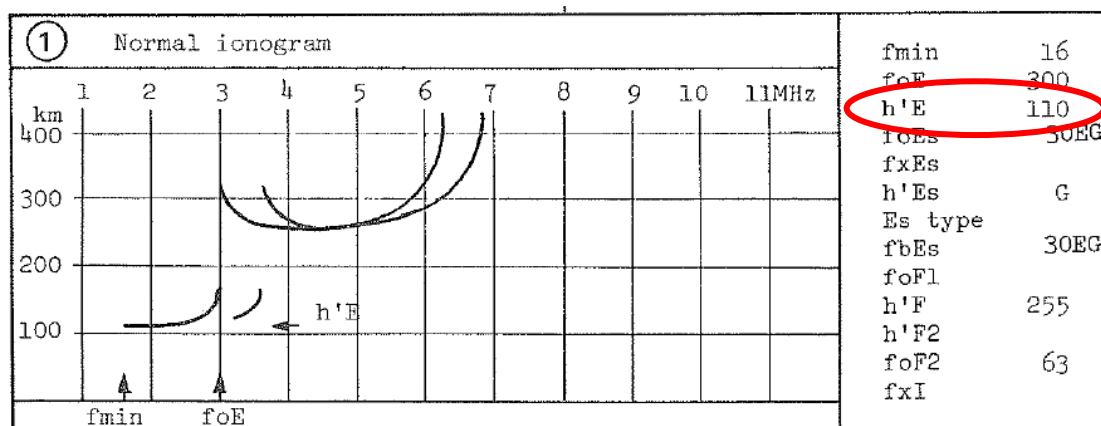


图. 正常频高图情形下的标定 h'E

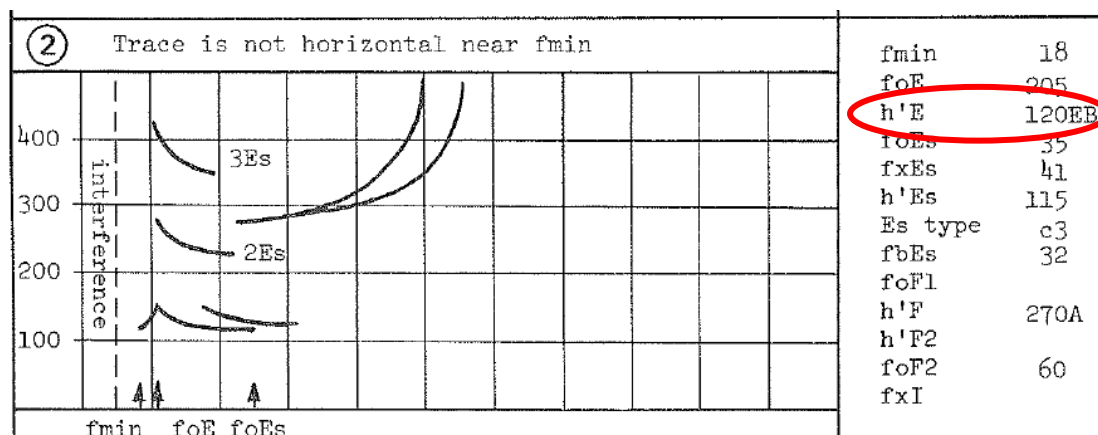


图. fmin 附近描述不水平的频高图情形下的标定 h'E

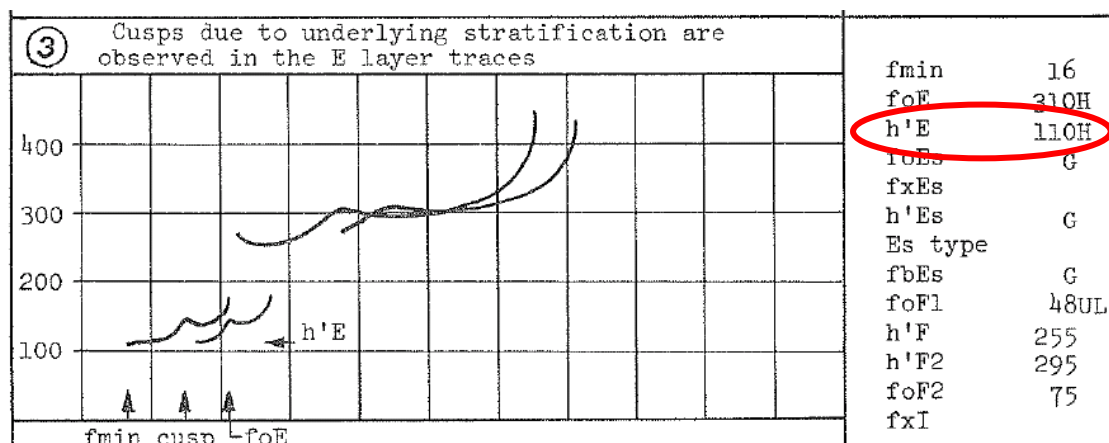


图. 因下面分层导致 E 层描述有尖突的频高图情形下的标定 h'E

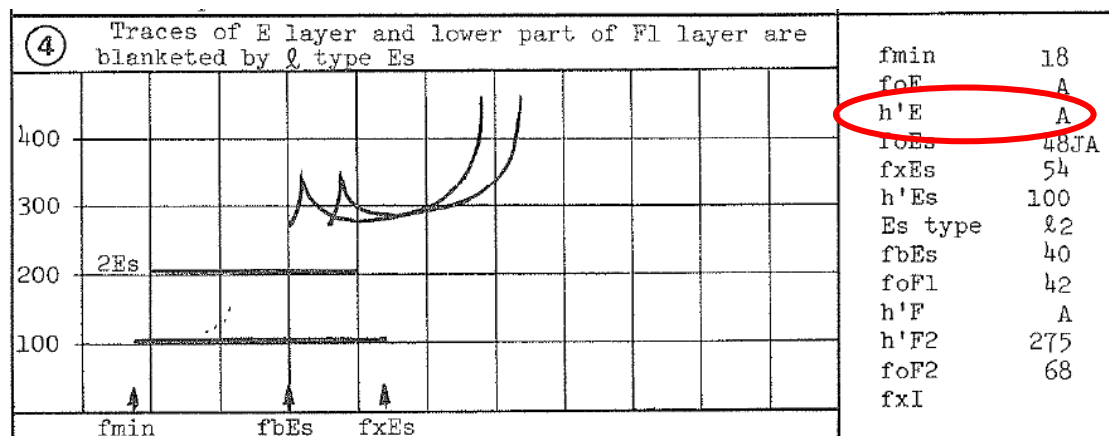


图. E 层和 F1 层部分描述被 ℓ 型 Es 遮蔽的频高图情形下的标定 h'E

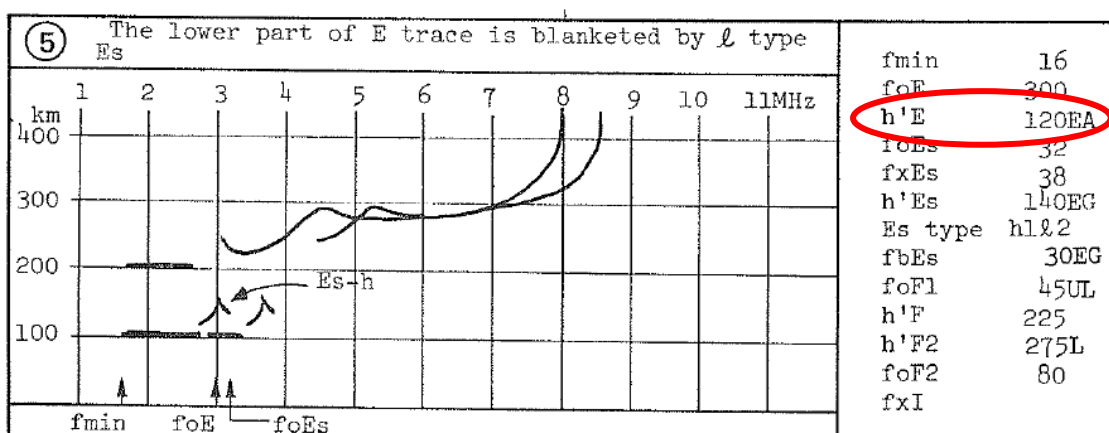


图. E 层部分描述被 ℓ 型 Es 遮蔽的频高图情形下的标定 h'E

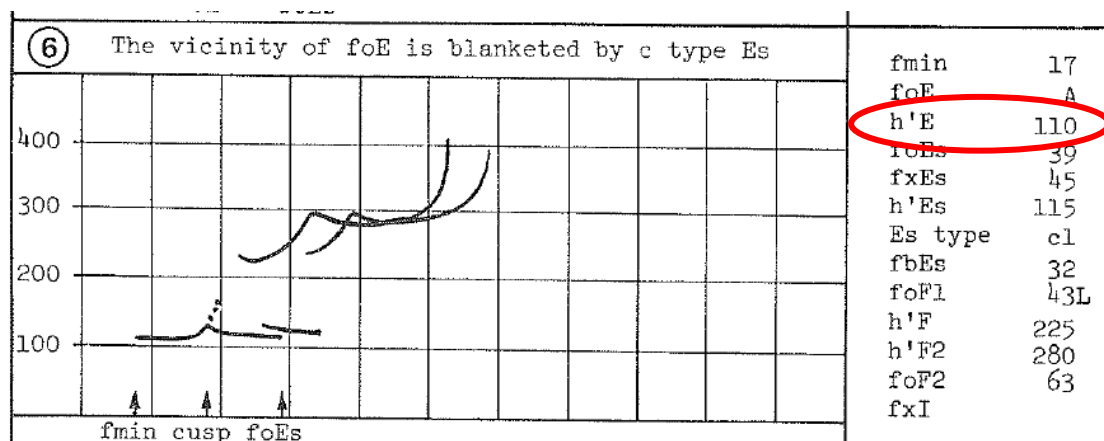


图. foE 附近描述被 c 型 Es 遮蔽的频高图情形下的标定 h'E

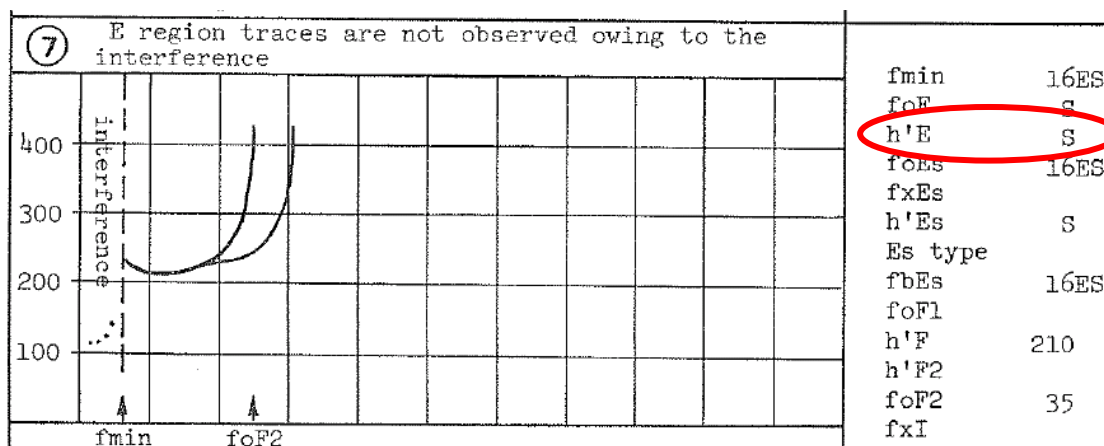


图. 干扰导致没有 E 层描述的频高图情形下的标定 h'E

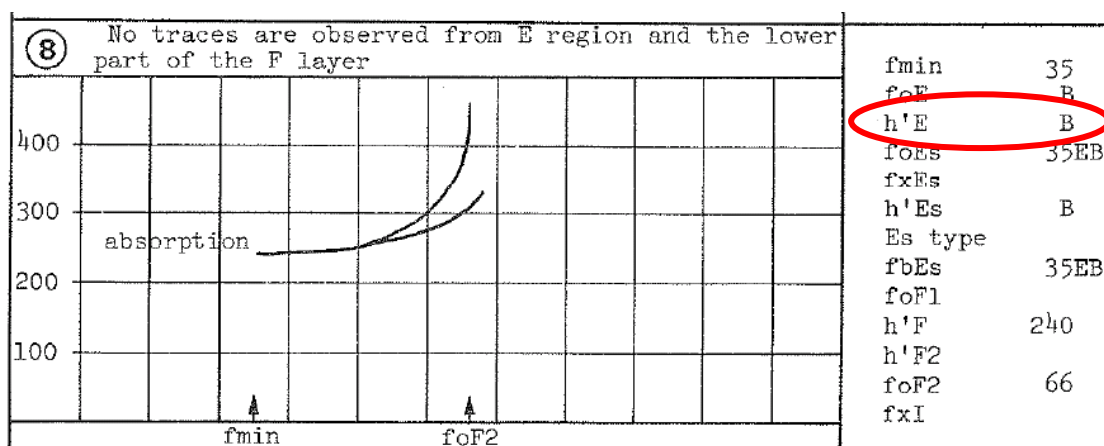


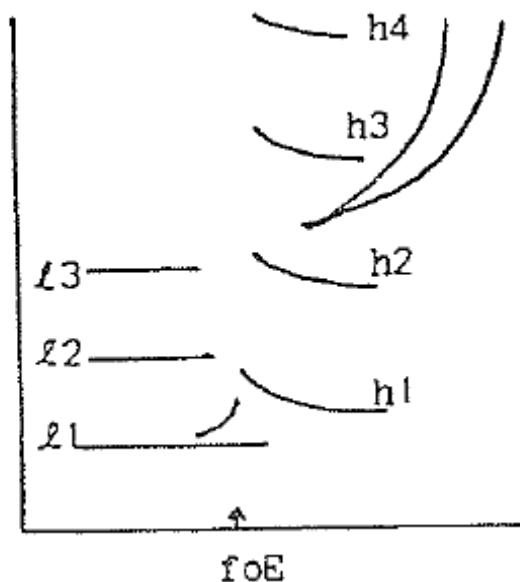
图. 没有 E 层描述和 F 层低端部分描述的频高图情形下的标定 h'E

2.2.4 参数 4: Es 类型

Es 层是迅速变化的薄层，高度范围在 100 到 170km。在这个高度范围的描述，只要不能很清楚的确认为常规 E 层或 E2 层，就归入 Es 层。Es 描述通常出现在 100 到 150km 高度，在 h 型 Es 偶尔超过 150km。

Es 层形态分为 11 种，有 *f, l, c, h, q, r, a, s, d, n* 和 *k* 型，在一个站观测不到那么多类型的 Es，其中在中纬地区常出现的有 *l, c, h* 和 *f* 型，而 *r, a* 通常在高纬观测到，但不限于高纬地区。有时，多种类型的 Es 同时出现。选取在有最高频率的 Es 描述进行 foEs, fbEs 和 h'Es 标定。

所有 Es 层必须分类，用小写字母表示。在记录类型的表格中，类型后跟上多次发射的数字（不超过 9），如



记为 *h4l3*。最多不超过 5 个字符。

具体图例：

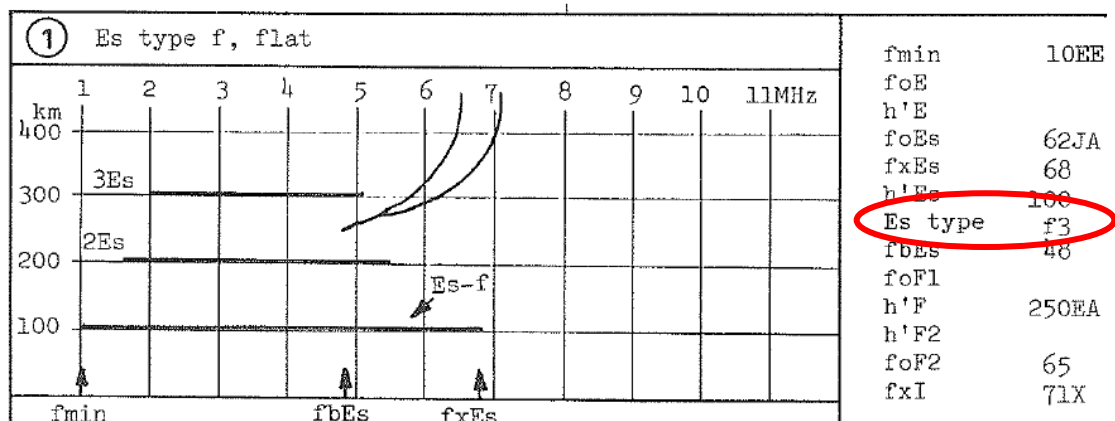


图. *f*型 Es

*f*型（平坦型）Es 是随着频率增加，虚高不变化的一类。在夜间归入*f*型 Es，白天根据其虚高进一步分为*l*型、*c*型和*h*型。

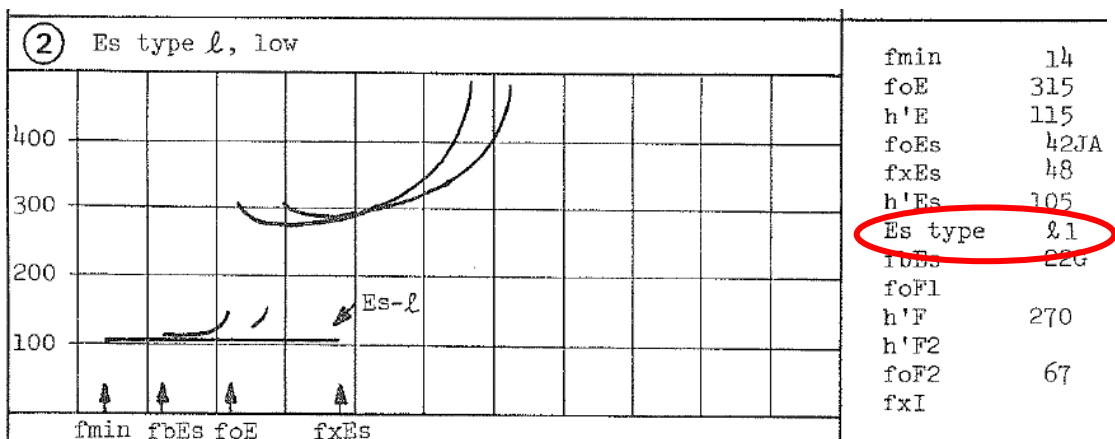


图. *l*型 Es

*l*型 Es 描述高度低于或等于常规 E 层最低虚高，适于白天。

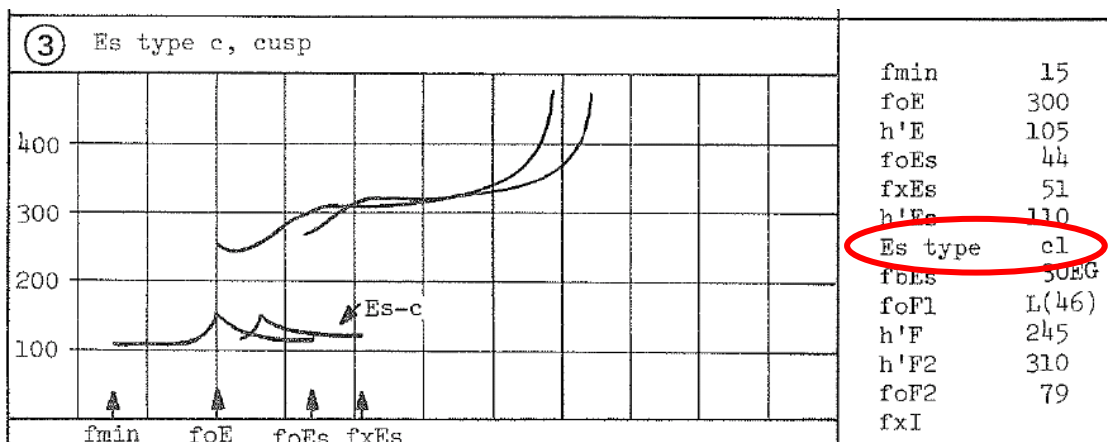


图. *c*型 Es

c 型 Es 描述与频率低于等于 foE 描述对称, 常和 E 层描述相连, 只适于白天, 以及夜间微粒 E 层出现时。有时, 尖突部分或全部不出现。

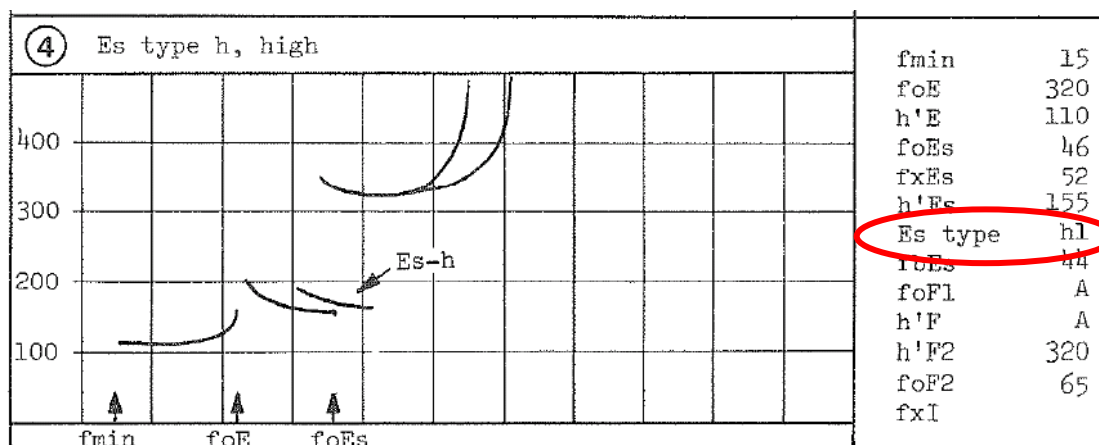


图. h 型 Es

h 型 Es 在 Es 描述高度上与常规 E 层在 foE 及以上不连续。尖突也不对称, 高度明显高于 E 层频率高端的虚高。只适用白天和夜间微粒 E 层出现时。

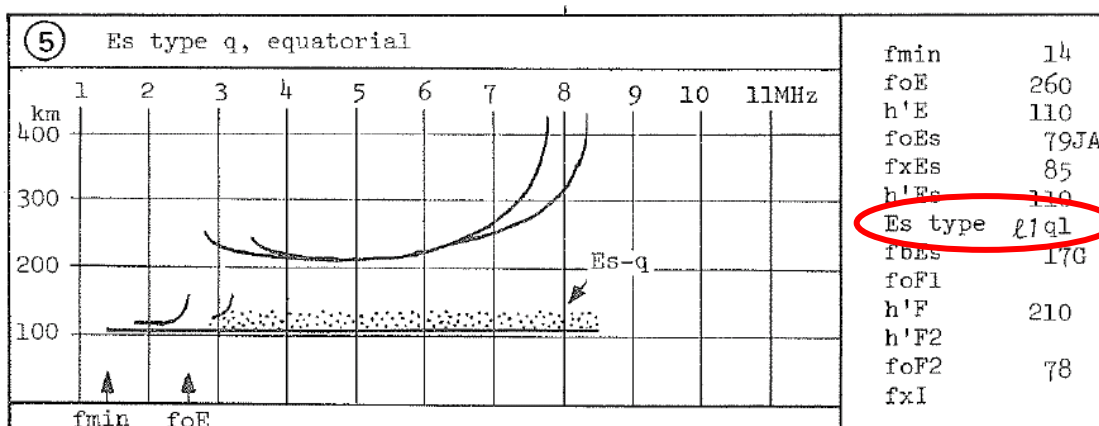


图. q 型 Es

q 型 Es 是常在白天出现在磁倾角赤道地区的一类, 呈现出透明和扩展特性, 其下边沿易于确定。

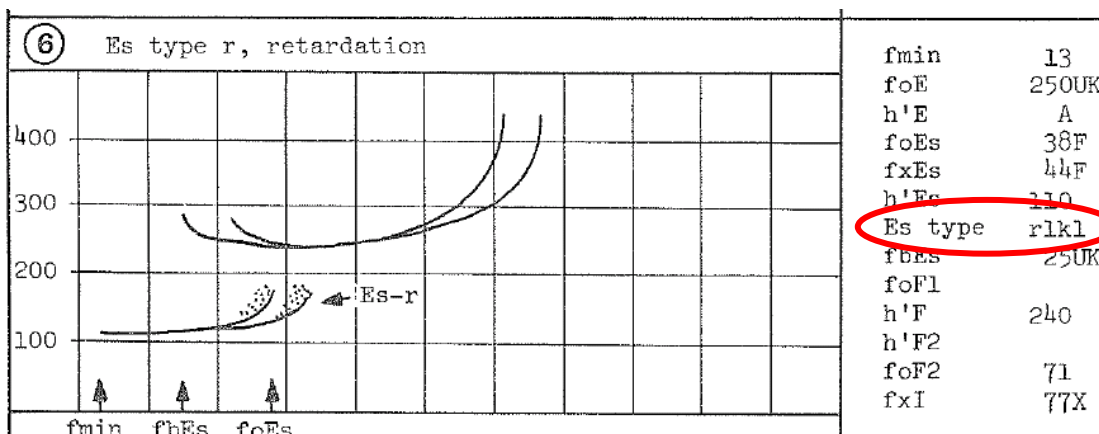
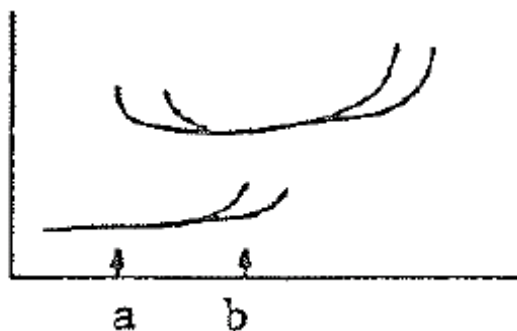


图. *r* 型 Es

r 型 Es 是斜反射的微粒 E 层描述，在频率高端的虚高像常规 E 层描述一样增加。描述能遮蔽部分或全部常规 E 层和 F 层描述。

当图中



b 大于 *a* 时，这种 Es 定为 *r* 型；当 *a* 和 *b* 大致相等时，则定为微粒 E 层。

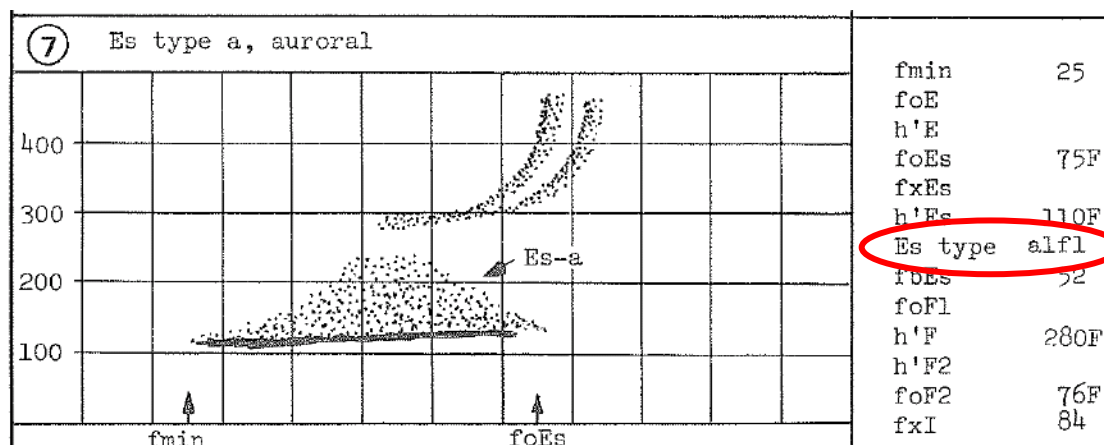


图. *a* 型 Es

a 型 Es 通常只在高纬观测到，但在极光活动期间中纬也能看到。这种类型能运用到多种类型。其描述虚高高度扩展达几百公里。回波的下边界为平的，或缓慢增加。

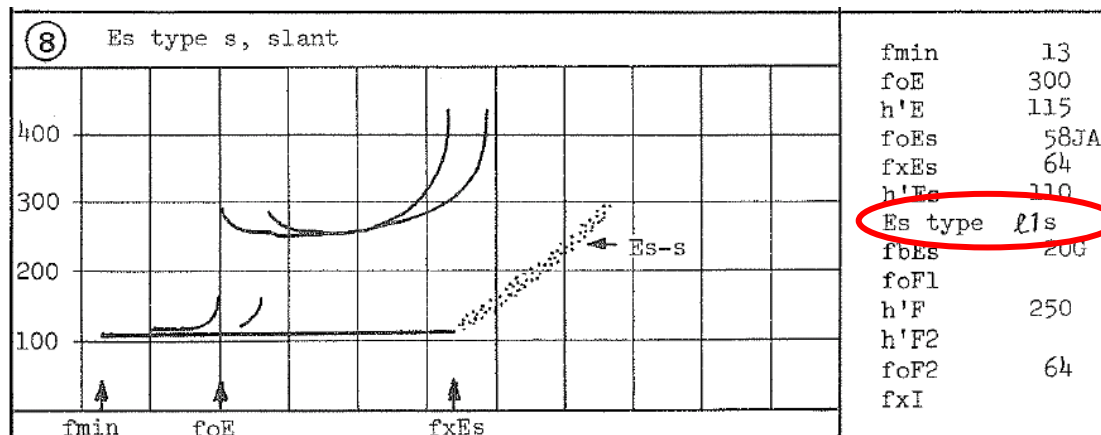


图. *s* 型 Es

s 型 Es 是一类描述有扩展，虚高随频率增高。*s* 型 Es 不用于水平部分，只用于斜描述，主要在高纬观测到。*s* 型描述不用来确定 foEs, fbEs 或 h'Es, 但应该列入参数表中。

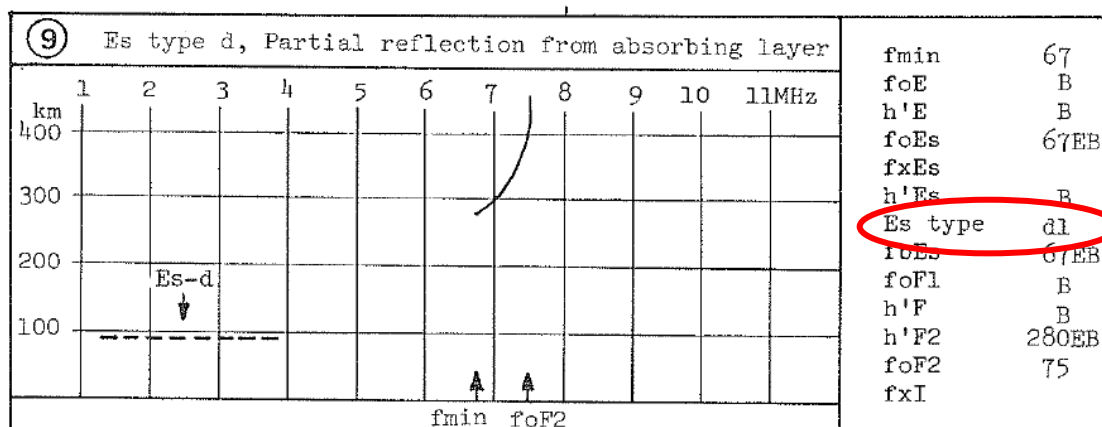


图. *d* 型 Es

d 型 Es 通常出现在 95km 高度以下，微弱扩展，和强吸收有关（高 fmin）。这类 Es 对高层没有遮蔽能力，常在 80km 高度附近。

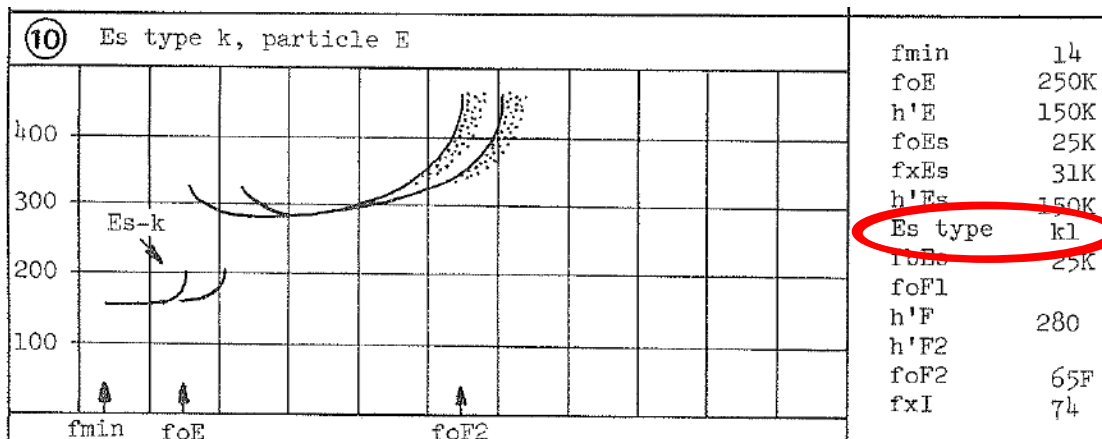


图. *k* 型 Es

k 型 Es 用来表示存在微粒 E 层。夜间有时在较高高度（170km）观测到厚层，在高纬用 *r* 或 *a* 型。

2.2.5 参数 5-6: foEs 和 h' Es

foEs 是 Es 层寻常波反射描述的最高频率（顶端频率）。Es 层是迅速变化的薄层，高度范围在 100 到 170km。在这个高度范围的描述，只要不能很清楚的确认为常规 E 层或 E2 层，就归入 Es 层。

h'Es 是标定 foEs 的 Es 层寻常波反射描述的最低虚高。

标定精度：foEs 的标定精度为 0.1MHz，h'Es 的标定精度为 2 km。

标定注意之处：

(1) Es 为薄层，除了出现在高纬和扰动条件下的中纬地区的 r 和 k 型 Es 外，在 foEs 附近通常没有延迟出现。

(2) Es 描述常出现在 100 到 150km 高度，在 h 型 Es 偶尔超过 150km。

(3) Es 层形态分为 11 种，其中在中纬地区常出现的有 l,c,h 和 f 型。有时，多种类型的 Es 同时出现。

(4) 当 Es 描述变得水平时，h'Es 标定为其最低高度。

(5) 不考虑斜向反射产生的描述。

(6) 标定不在很微弱或有间断的描述上进行。

常常在标定 foEs 有困难，这时，假设最高频率为非常波，借助磁旋频率进行估计。

具体图例：

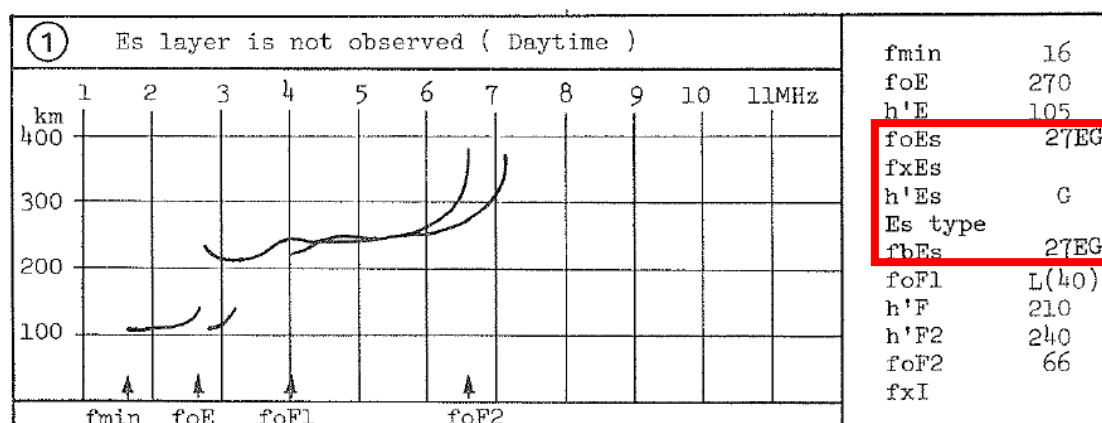


图. 白天观测不到 Es 层描述的频高图情形下的标定 foEs 和 h'Es

没有 Es 描述，但有清晰的 E 层和完整的 F 层描述。此时，foEs 采用 foE，需用符号 EG 限定，h'Es 用符号 G 限定。

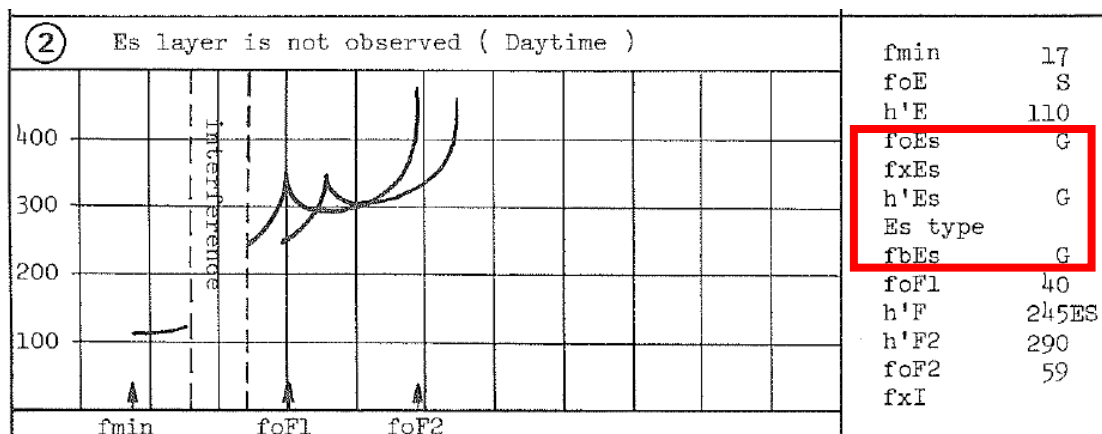


图. 白天因干扰观测不到 Es 层描述的频高图情形下的标定 foEs 和 h'Es

foE 因干扰不能标定, 由前后频高图也没有 Es, 采用符号 G 限定 foEs 和 h'Es。

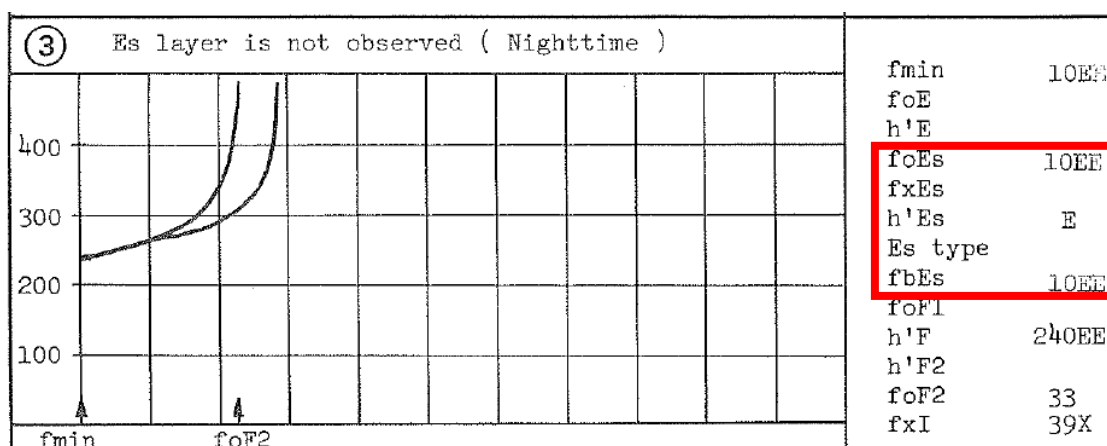


图. 夜间观测不到 Es 层描述的频高图情形下的标定 foEs 和 h'Es

夜间观测不到 Es 层描述, 没有 E 层描述, 只有 F 层描述 (频率低端到达测高仪最低频率) 的频高图情形下, foEs=(fmin)EE, h'Es=E。

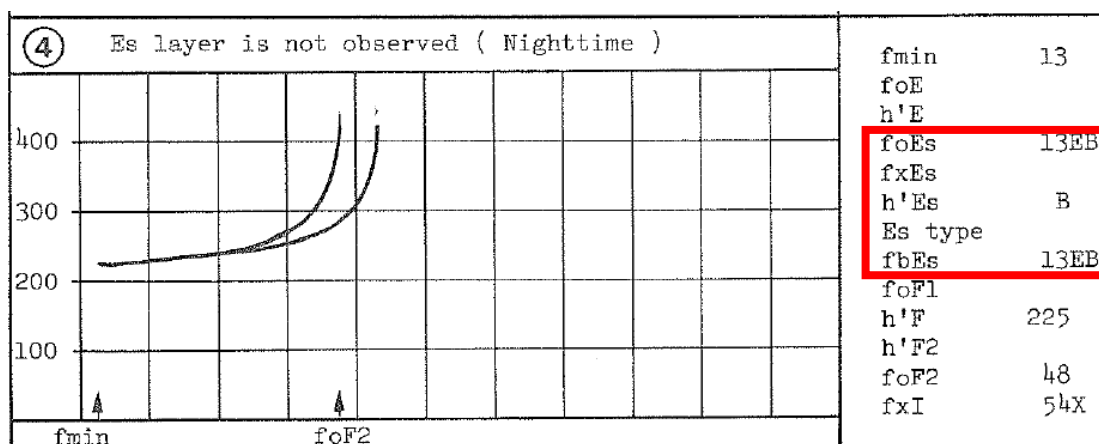


图. 夜间观测不到 Es 层描述的频高图情形下的标定 foEs 和 h'Es

夜间观测不到 Es 层描述, 没有 E 层描述的频高图情形下, fmin 能从 F 层描

迹标定，测高仪正常工作， f_{min} 以下没有描述则归于吸收。此时， $f_oE_s=(f_{min})EB$ ， $h'E_s=B$ 。用 **B** 进行限定。

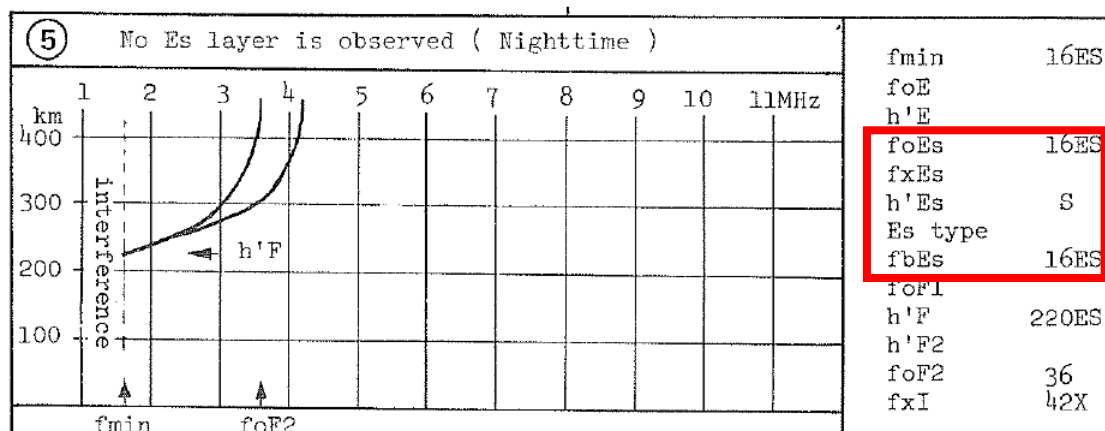


图. 夜间因干扰观测不到 Es 层描述的频高图情形下的标定 f_oE_s 和 $h'E_s$

此时 f_oE 因 MF 广播干扰，描述不清晰而不能标定，此时， $f_oE_s=(f_{min})ES$ ， $h'E_s=S$ 。用 **S** 进行限定。

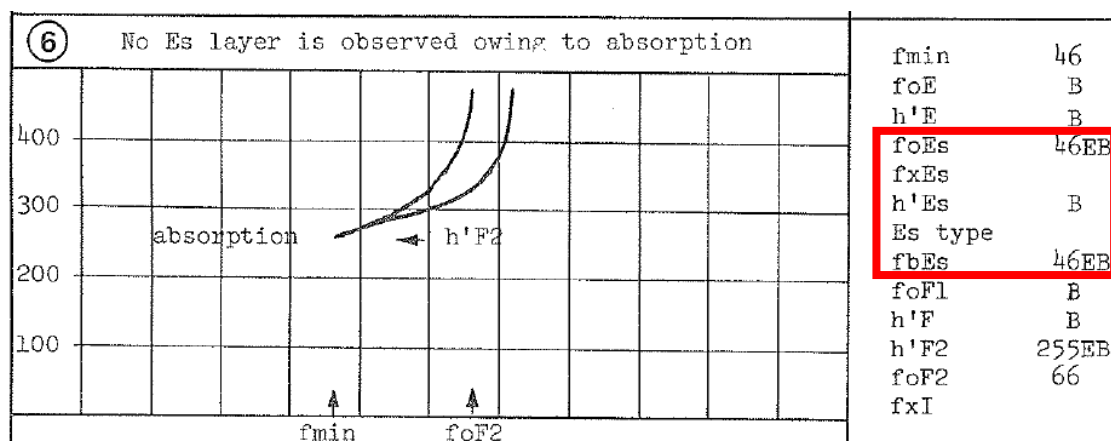


图. 因吸收 Es 层描述被吸收的频高图情形下的标定 f_oE_s 和 $h'E_s$

因吸收，没有 Es 和 E 层描述，但 F 层有部分描述。此时， $f_oE_s=(f_{min})EB$ ， $h'E_s=B$ 。用 **B** 进行限定。

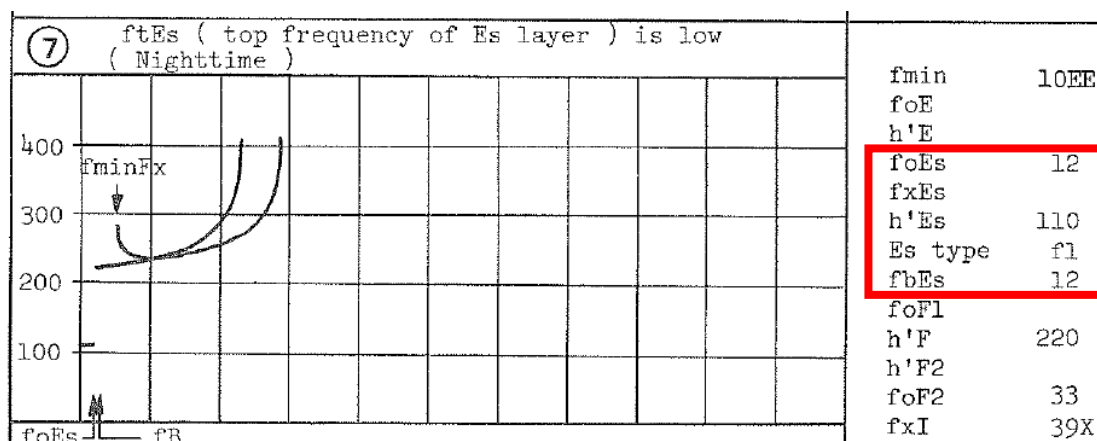


图. 夜间 Es 层的高端频率很低的频高图情形下的标定 foEs 和 h'Es

夜间存在 f 型 Es，但 Es 层的高端频率很低的频高图情形下，从描述频率高端标定 foEs。

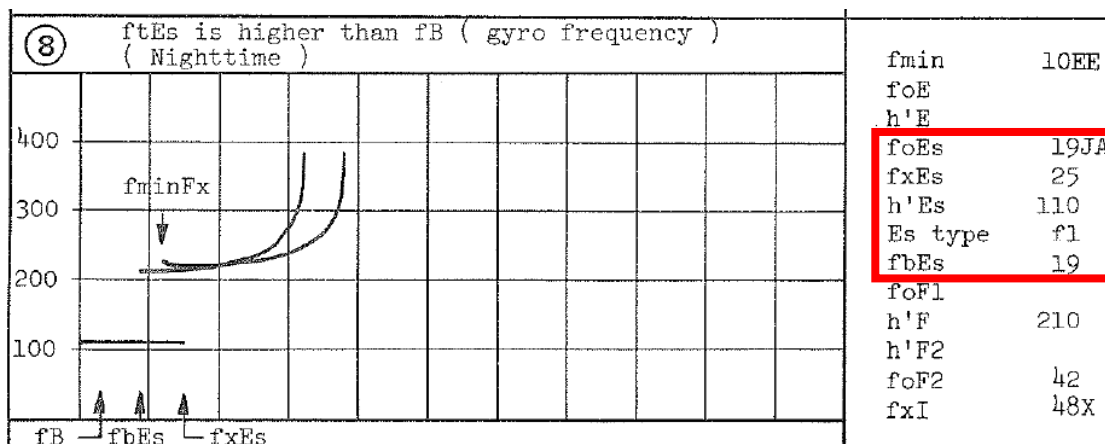


图. 夜间 Es 层描述高端频率超过磁回旋频率的情形下标定 foEs 和 h'Es

夜间 Es 层描述高端频率超过磁回旋频率的情形下，标定 $foEs = (fxEs - fB/2)$ JA，用 JA 限定。

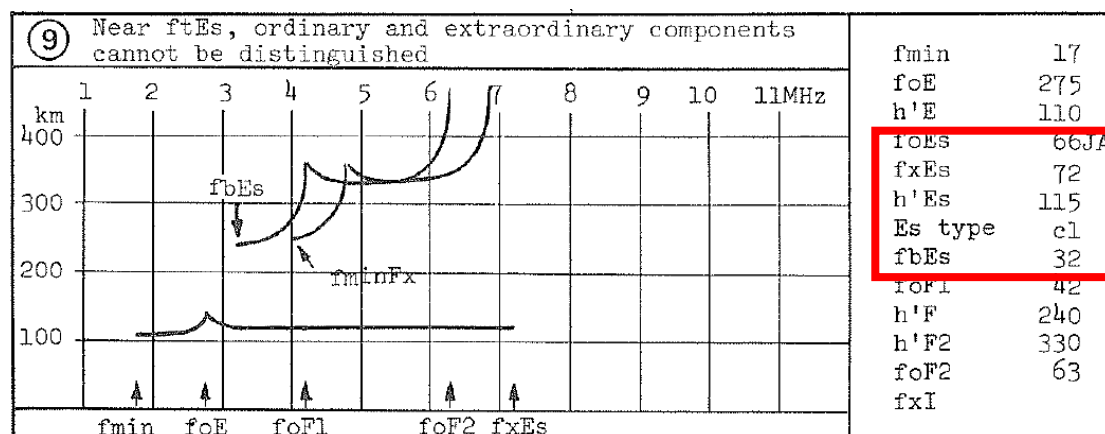


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠, 不能区分。此情形下, $foEs = (fxEs - fbEs/2) JA$, 用 JA 限定。

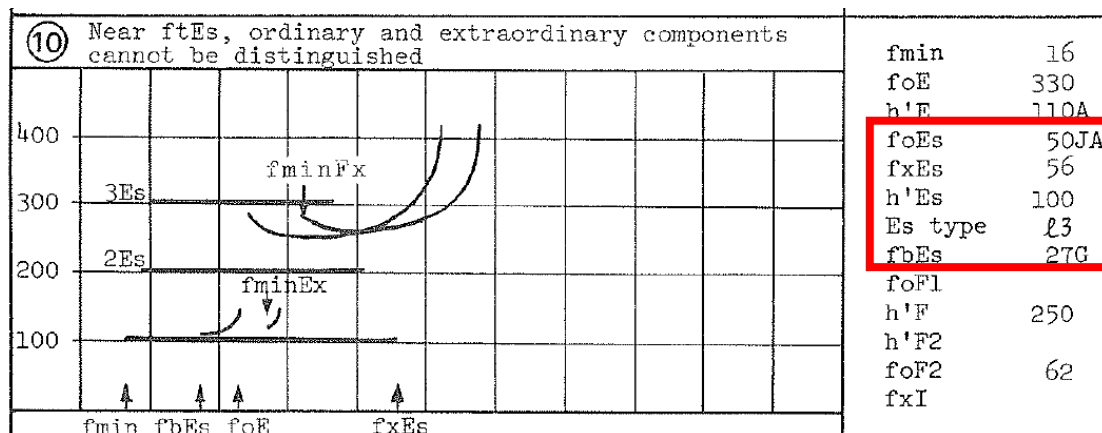


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠, 不能区分。此情形下, $foEs = (fxEs - fbEs/2) JA$, 用 JA 限定。

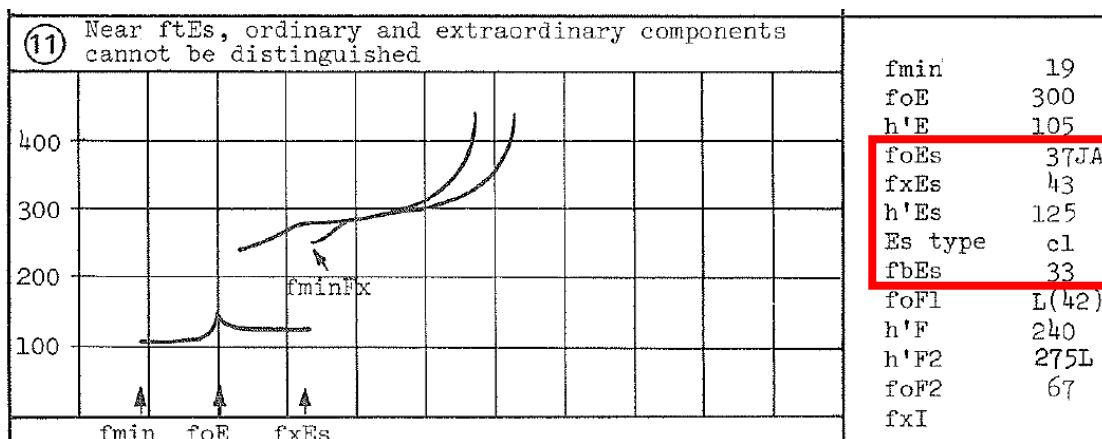


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠, 不能区分。此情形下, $foEs = (fxEs - fbEs/2) JA$, 用 JA 限定。

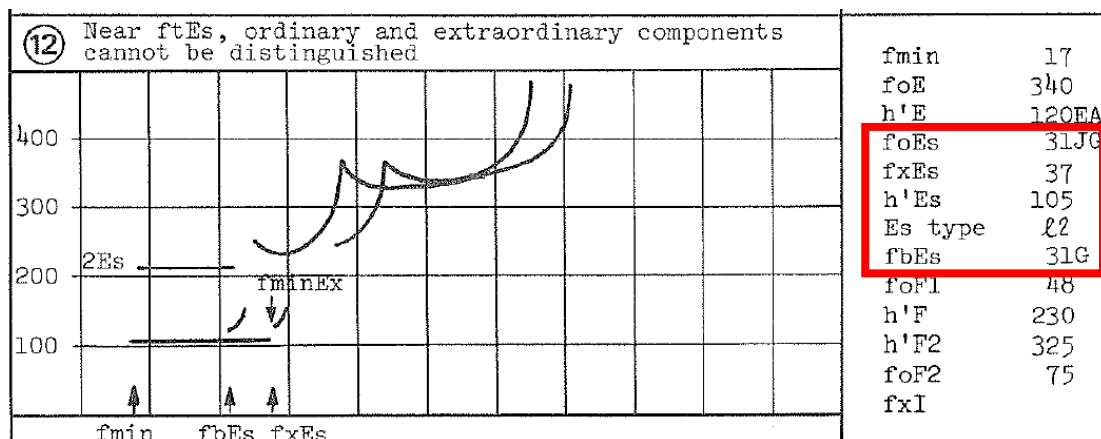


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠, 不能区分。但是, $(fxEs - fb/2)$ 低于 foE。此情形下, $foEs = (fxEs - fb/2) JG$, 用 JG 限定。

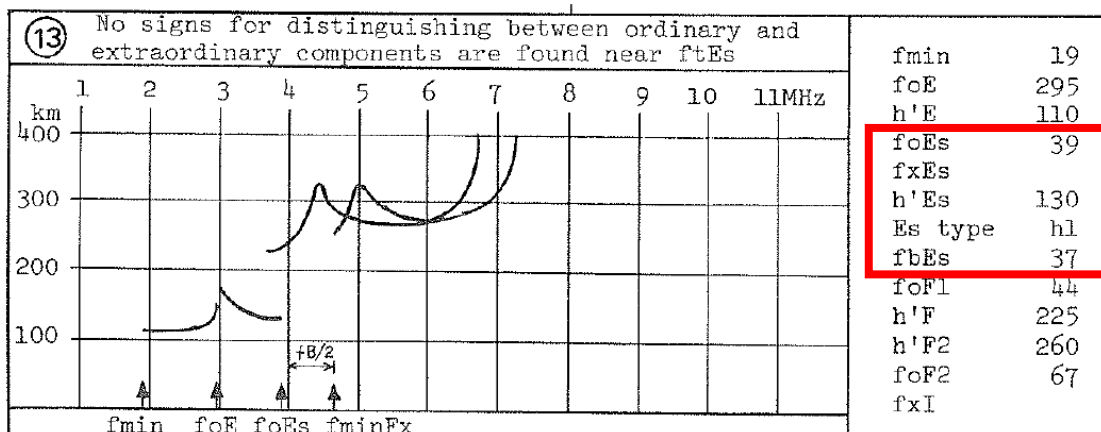


图. 难区分 Es 层描述寻常波描述和非常波描述的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述和 E 层描述在 foE 相切, Es 层描述难于区分寻常波和非常波描述。此情形下, $foEs = fxEs$, 不用限定。

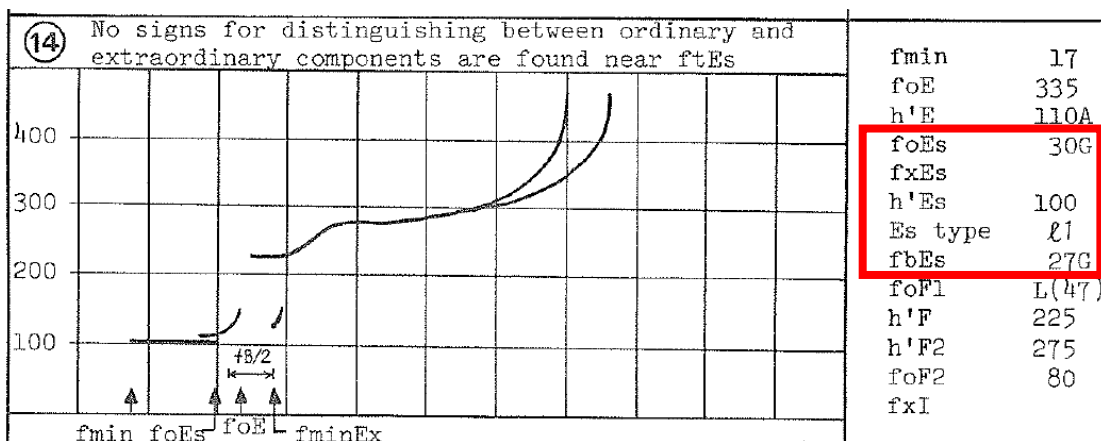


图. 难区分 Es 层描述寻常波描述和非常波描述的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述难于区分寻常波和非常波描述。Es 层描述在 E 层描述下，且最高频率低于 foE。此情形下，foEs=(fxEs)G，用 G 限定。

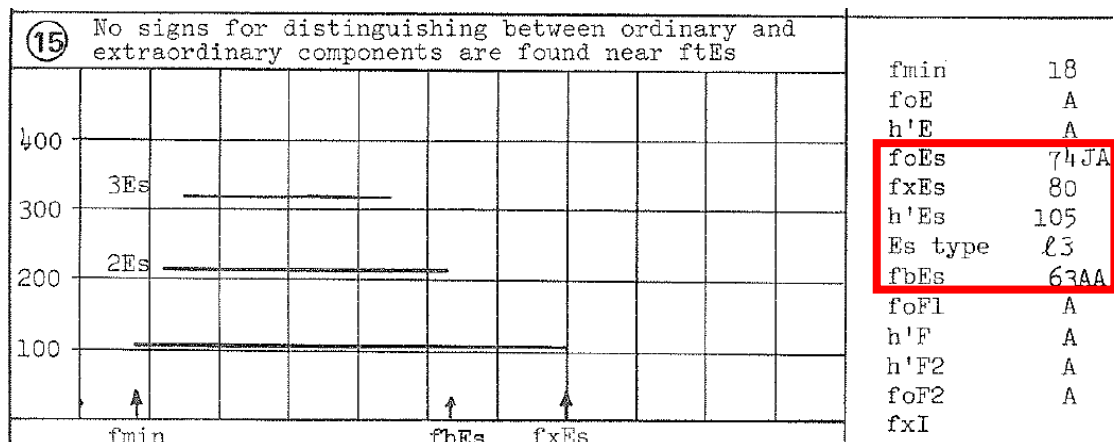


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 l 型 Es。Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠，不能区分。F 层描述被完全遮蔽。此情形下，foEs=(fxEs-fB/2) JA，用 JA 限定。

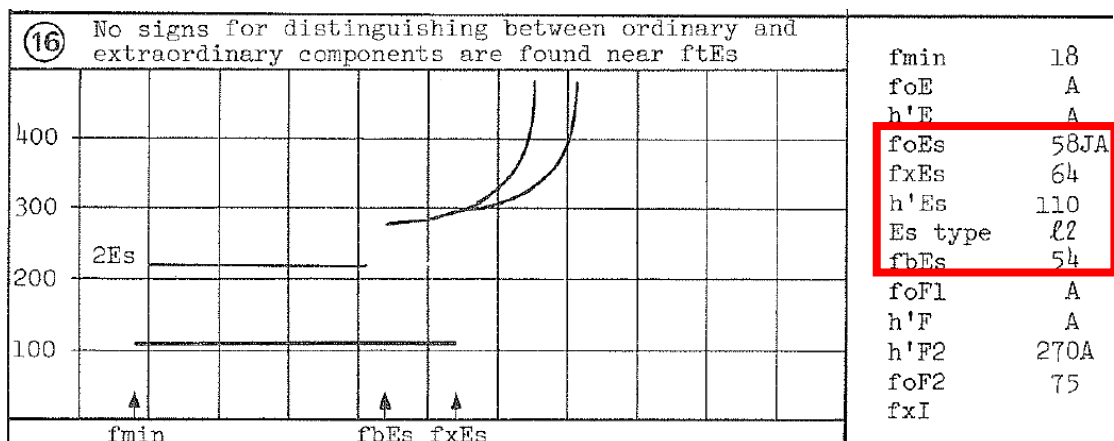


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 l 型 Es。Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠，不能区分。F 层描述被部分遮蔽，F 层描述低端寻常波描述和非常波描述也重叠。此情形下，foEs=(fxEs-fB/2) JA，用 JA 限定。

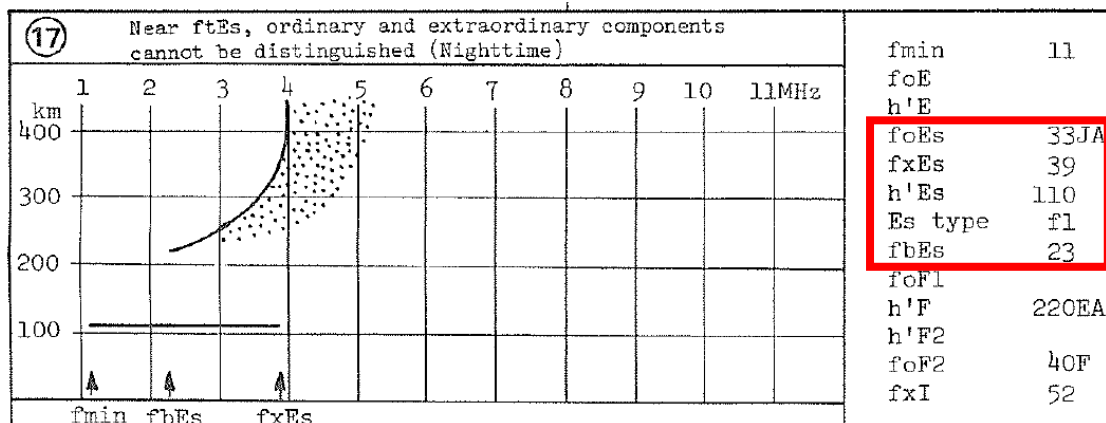


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述不能区分的情形下标定 foEs 和 h'Es

Es 层描述寻常波描述和非常波描述重叠，不能区分。F 层有扩展。fmin 很低，判断没有吸收。此情形下， $foEs = (fxEs - fb/2) JA$ ，用 JA 限定。

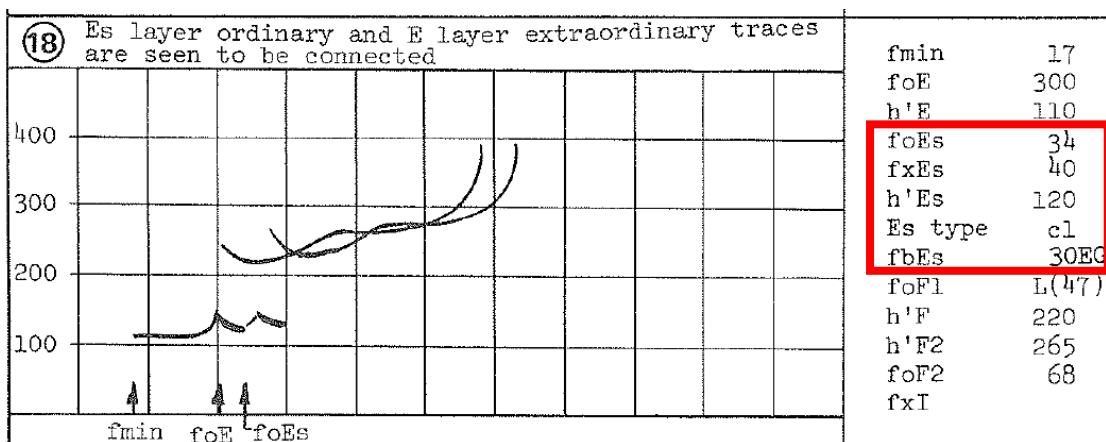


图. Es 层描述寻常波描述和非常波描述有连接情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 c 型 Es。Es 描述寻常波描述和非常波描述有连接，在 foEs 处描述有中断。此情形下，不用限定。

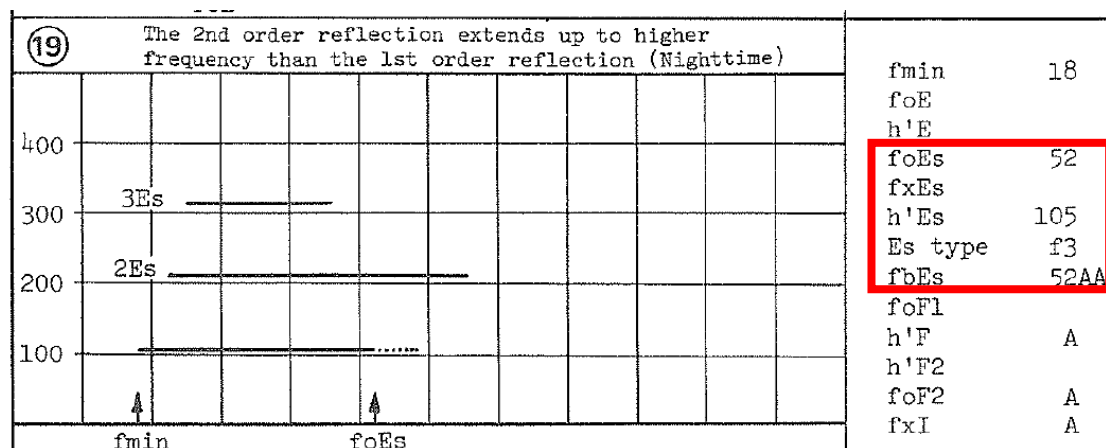


图. 二次 Es 层描述比一次描述频率更高情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 f 型 Es，有多次回波描述。二次 Es 层描述比一次描述频率更高，此情形下，从一次描述频率未中断的最高频率标定，不用限定。

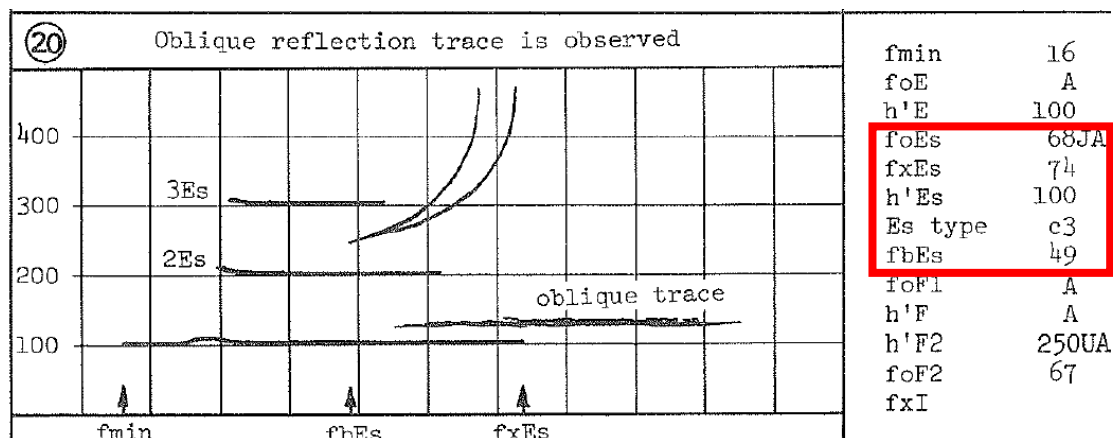


图. 存在斜向回波描述情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 c 型 Es，同时存在斜向回波描述。从 Es 描述最高频率和磁回旋频率估计 foEs，此情形下， $foEs = (fxEs - fB/2) JA$ ，用 JA 限定。

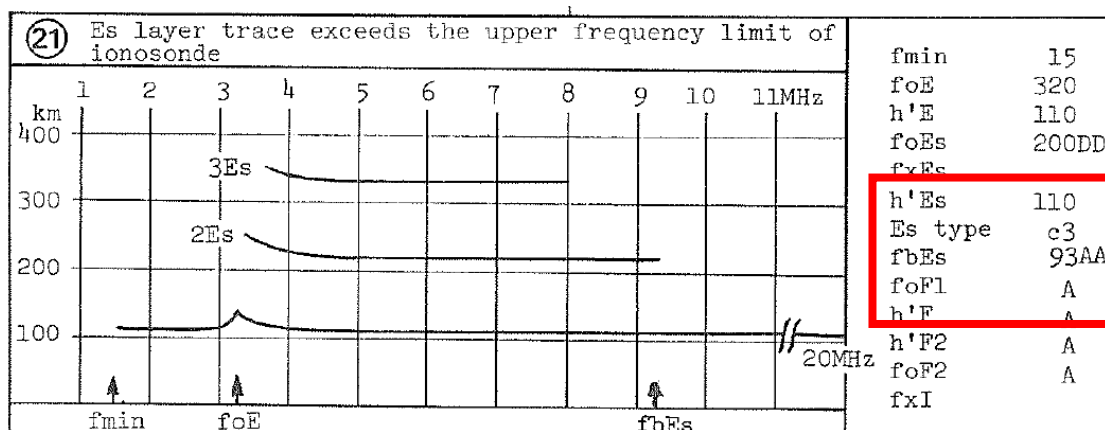


图. Es 层描述超过测高仪的频率上限情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 c 型 Es。Es 描述描述超过测高仪的频率上限。此情形下， $foEs = (\text{测高仪的上限频率}) DD$ ，用 DD 限定。

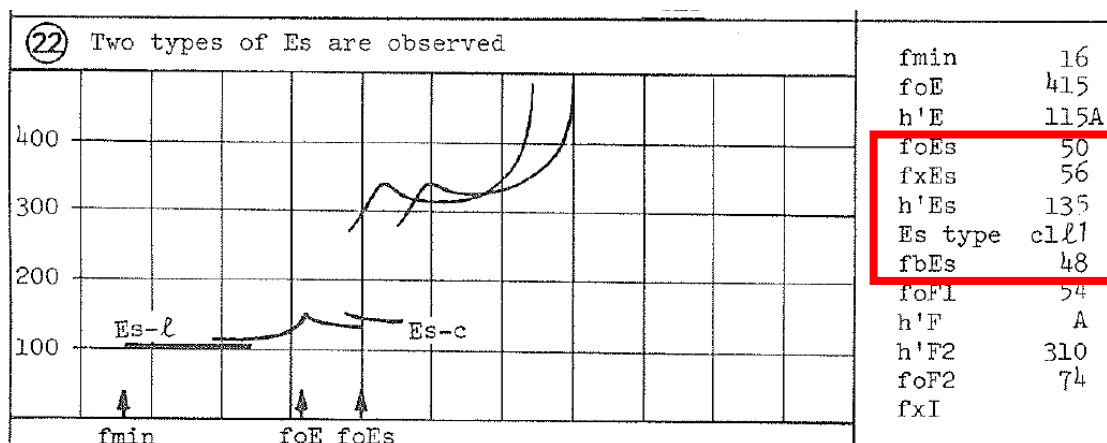


图. 多种 Es 层描述情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 c 型 Es 和 l 型 Es。foEs 标定选描述频率较高的。

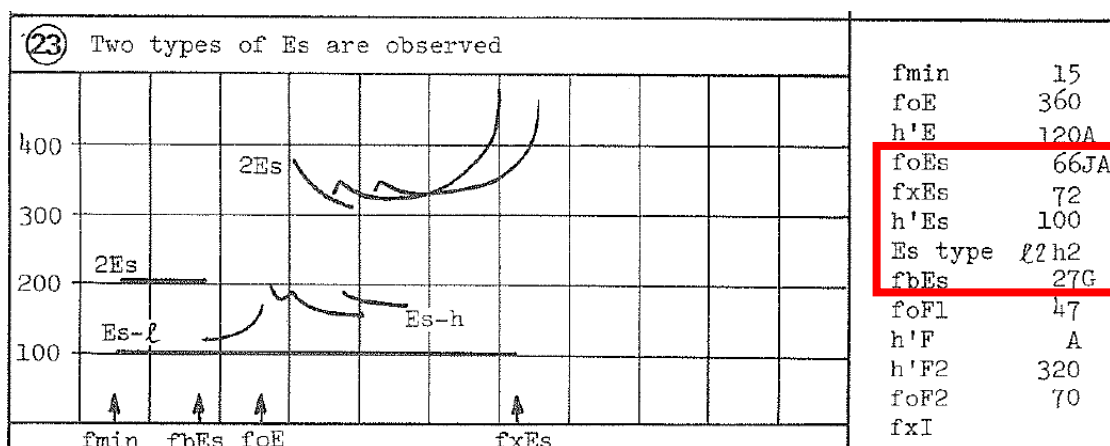


图. 多种 Es 层描述情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 c 型 Es 和 l 型 Es。foEs 标定选描述频率较高的。

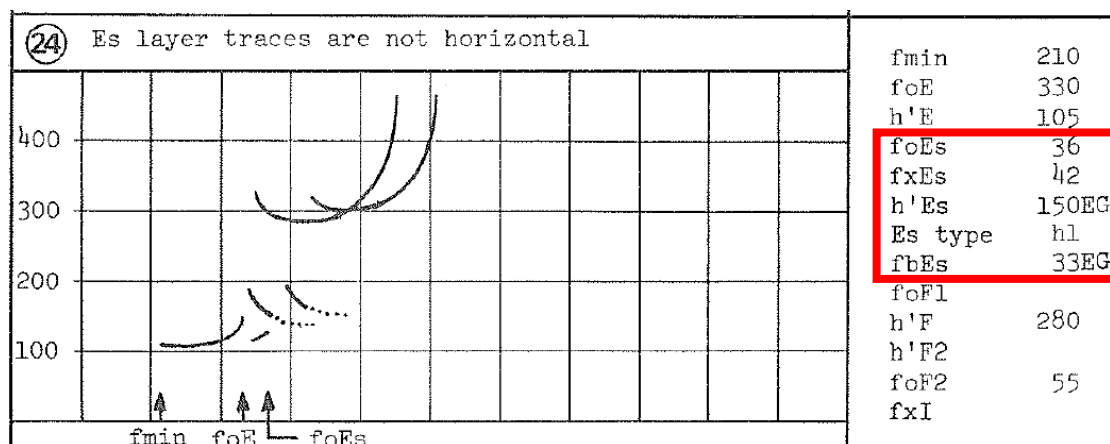


图. Es 层描述不水平情形下标定 foEs 和 h'Es

存在 h 型 Es。Es 层寻常波和非常波描述能够清楚分离，但水平部分缺失。

foEs 标定选描述最高频率，h'Es 用 foEs 频率上描述的虚高，但用限量符号

U 和 E, 和 G 符号说明。

2.2.6 参数 7: fbEs

fbEs 是 Es 层遮蔽频率, 即 Es 层开始变得透明, 能让上面层次反射的最低频率。fbEs 描述 Es 层的透明度, 通常用上面层回波的出现来确定。

标定精度: fbEs 的标定精度为 0.1MHz。

标定注意之处:

- (1) fbEs 应该从寻常波描述标定。
- (2) 除非在特殊情形, fbEs 应该不大于 foEs。

建议标定步骤:

如果频高图上没有 Es 描述,

(1) 在正常频高图, 白天, $fbEs=(foE)EG$; 夜间, $fbEs=(fmin)EE$, 或 $fbEs=(fmin)ES$ 。

(2) 在频高图部分受到干扰、吸收或设备原因, 没有描述用符号, 有部分描述, 白天, $fbEs=(foE)EG$; 夜间, $fbEs=(fmin)EE$, 或 $fbEs=(fmin)ES$ 。

如果频高图上有 Es 描述, 但是没有影响到上面层次, 白天, $fbEs=(foE)EG$; 夜间, $fbEs=(fmin)EE$, 或 $fbEs=(fmin)ES$ 。

如果频高图上有 Es 描述, 影响到上面层次,

- (1) 频高图只有 Es 描述, $fbEs=(foEs)AA$ 。
- (2) 当一次和二次回波之一超过测高仪的频率上限时, fbEs 取未超的那个描述的最高频率。
- (3) 因为干扰或其它原因导致 F 层描述模糊的, 但 foF2 好像大于 foEs 的, $fbEs=(foEs)ES$ 。S 为干扰说明符号。
- (4) Es 描述的最高频率和上层的最低频率 (fminF 或 fminE) 相当的, 如果寻常波和非常波能清晰分开的, 当 $foEs \geq fminF$ ($fminE$), $fbEs=fminF$ ($fminE$); 当 $foEs < fminF$ ($fminE$), $fbEs=(foEs)UY$ 或 $(foEs)ES$ 。
- (5) I 型 Es 的 foEs 小于 foE, $fbEs=(fminE)G$ 。

具体图例:

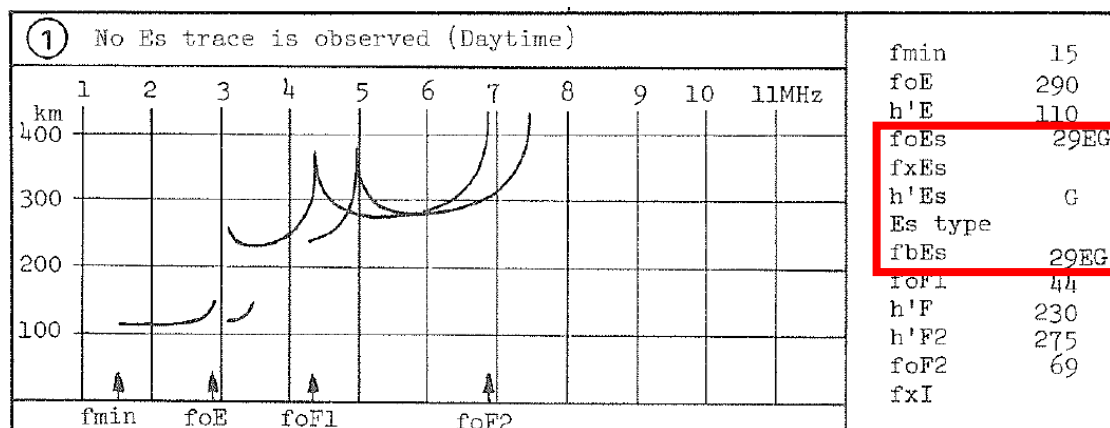


图. 白天没有 Es 层描述情形下标定 fbEs

白天没有 Es 层描述，但存在清晰的 E 层描述。此情形下， $fbEs=(foE)EG$ ，用 G 限定。

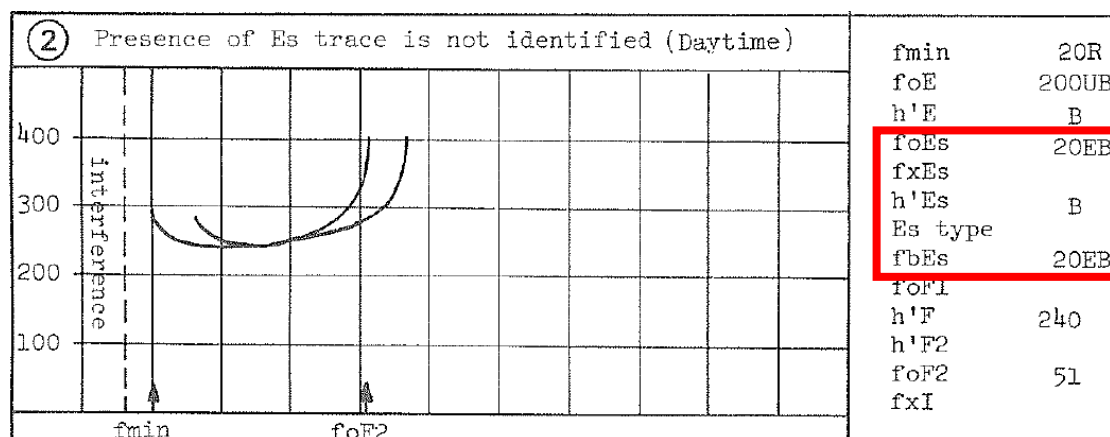


图. 白天因为干扰不能判断 Es 层描述是否存在情形下标定 fbEs

白天因为干扰，不能判断 E 和 Es 层描述是否存在，foE 能从 F 层描述的频率低端延迟情形下标定。此情形下， $fbEs=(foE)EB$ ，用 B 限定。

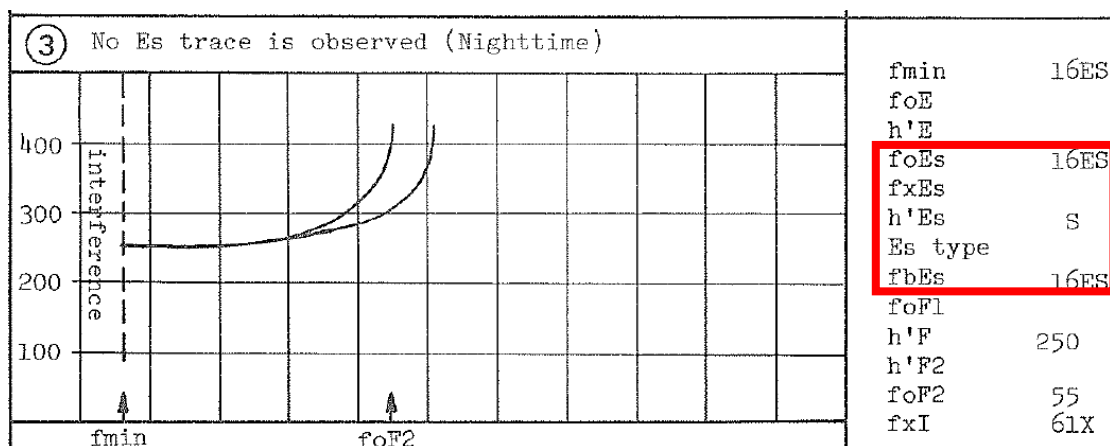


图. 夜间没有 Es 层描述情形下标定 fbEs

夜间因为干扰，低频段没有描述。没有 Es 层描述，但 F 层描述高端清晰的。
此情形下， $fbEs=(fmin)ES$ ，用 S 限定。

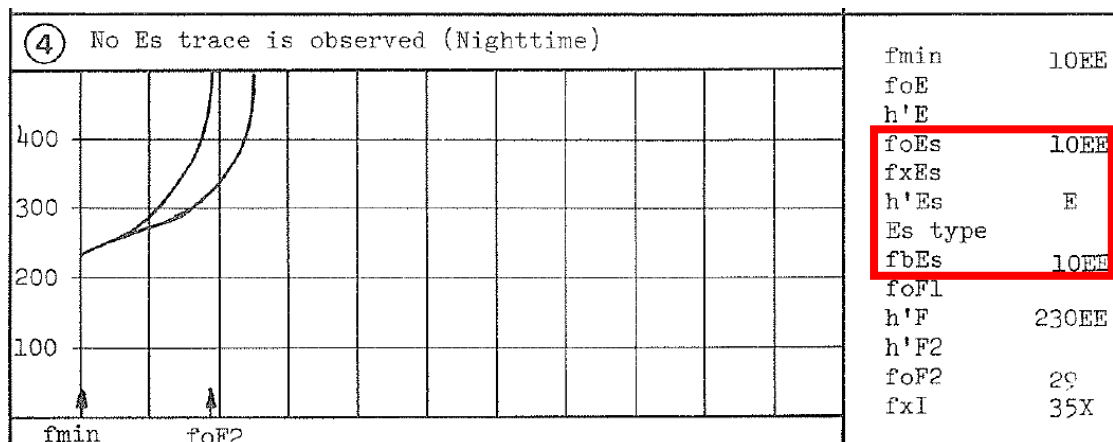


图. 夜间没有 Es 层描述情形下标定 fbEs

夜间低频段有描述，F 层描述清晰，但没有 Es 层描述。此情形下， $fbEs=(fmin)EE$ ，用 E 限定。

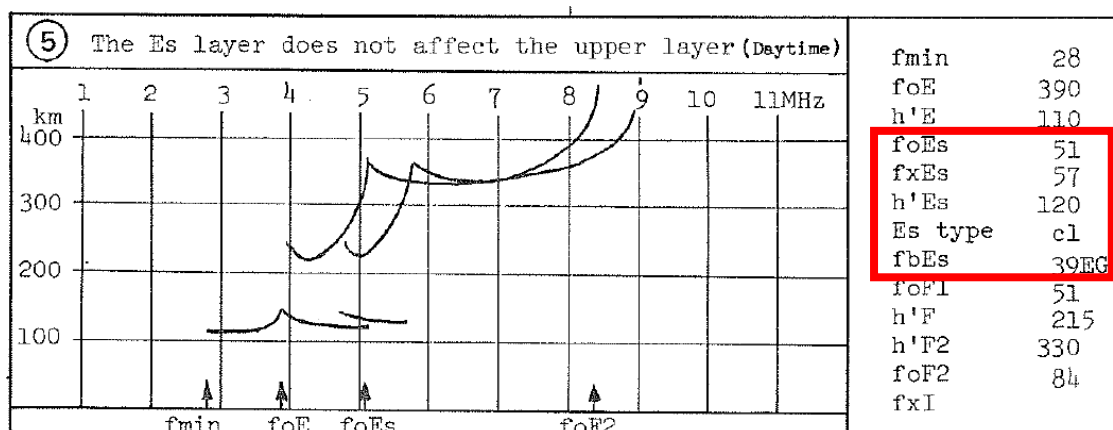


图. 白天 Es 层描述没有影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

白天存在 Es 层描述，但没有对上面层次描述产生影响。此情形下， $fbEs=(fminF)EG$ （Es 层高度和 E 层相当的），用 G 限定。

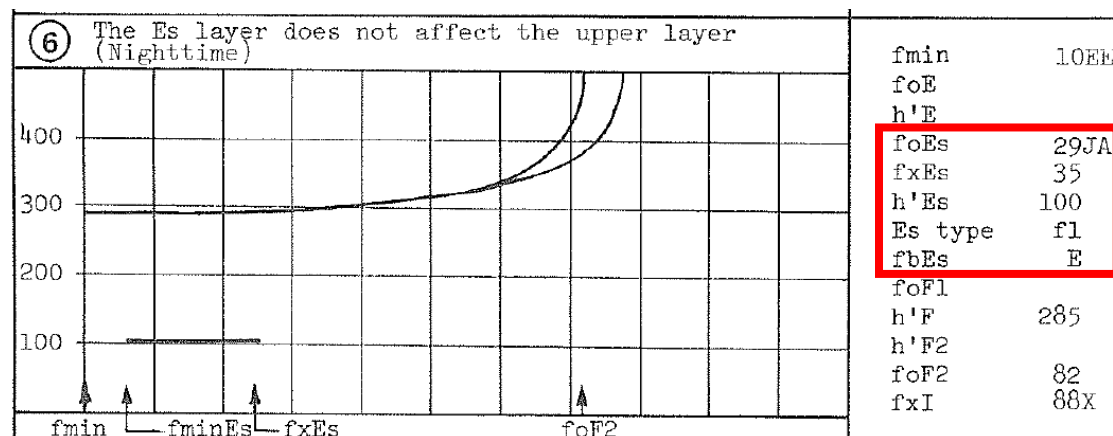


图. 夜间 Es 层描述没有影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

夜间存在 Es 层描述，但没有对上面层次描述产生影响。此情形下，fbEs=E，用 E 限定。

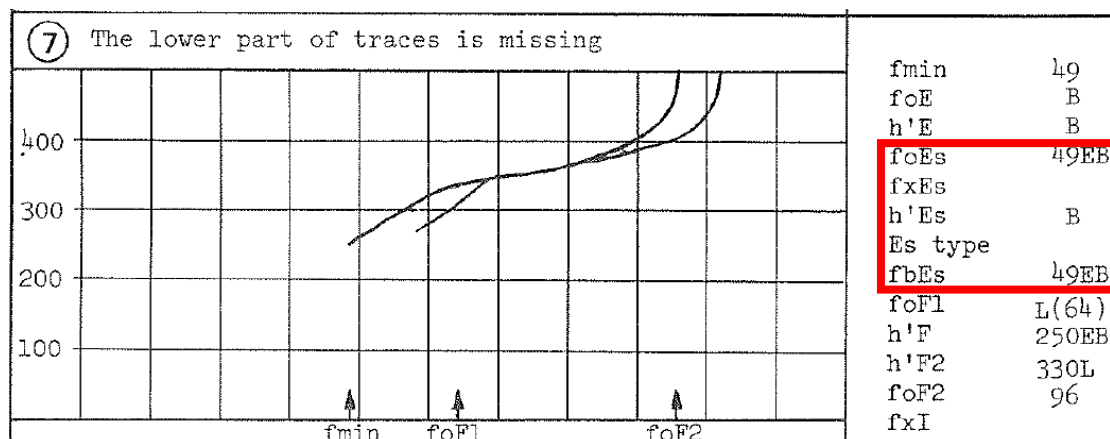


图. 描述低端缺失情形下标定 fbEs

没有 Es 层描述，其它描述低端缺失。此情形下，fbEs=(fmin)EB，用 B 限定。

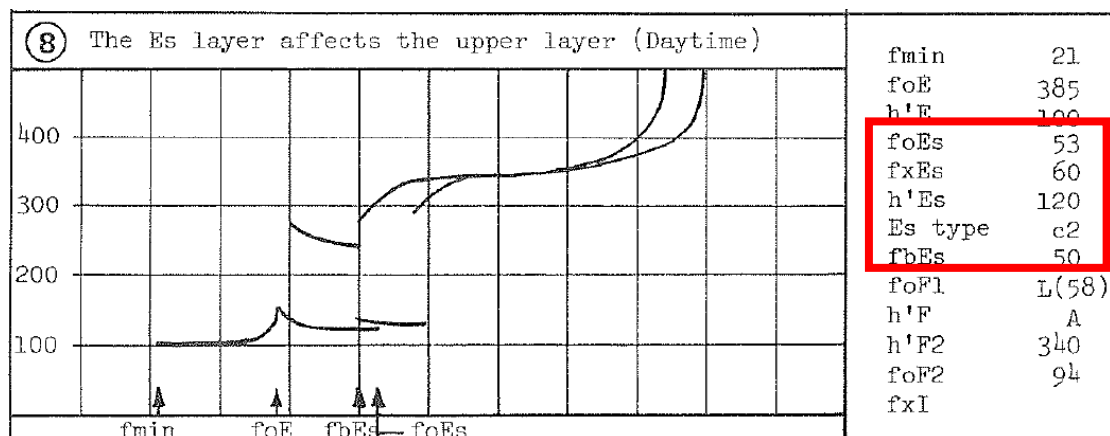


图. 存在 Es 描述，并影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

有 Es 层描述，并影响上面层次描述。此情形下，fbEs 标定为上面层次描述的最低频率。

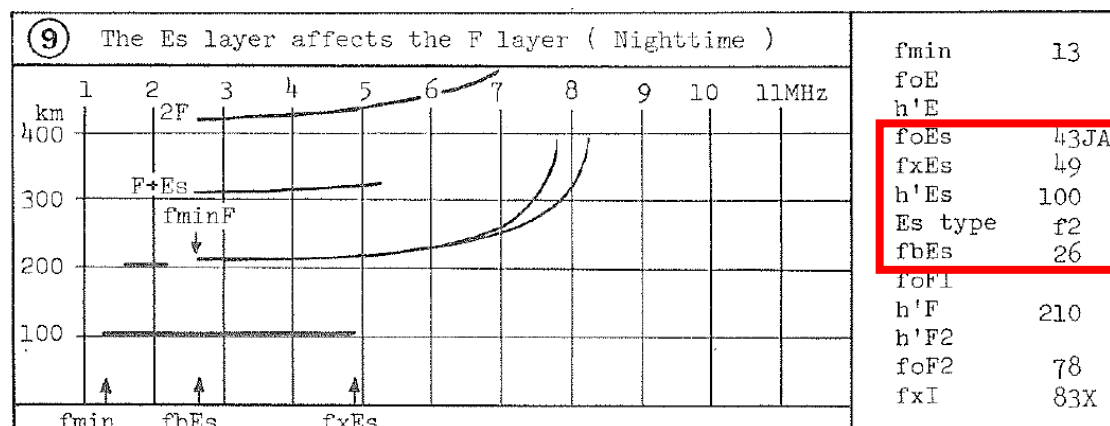


图. 存在 Es 描述, 并影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

有 Es 层描述, 并影响上面层次描述。此情形下, fbEs 标定为上面层次描述的最低频率。

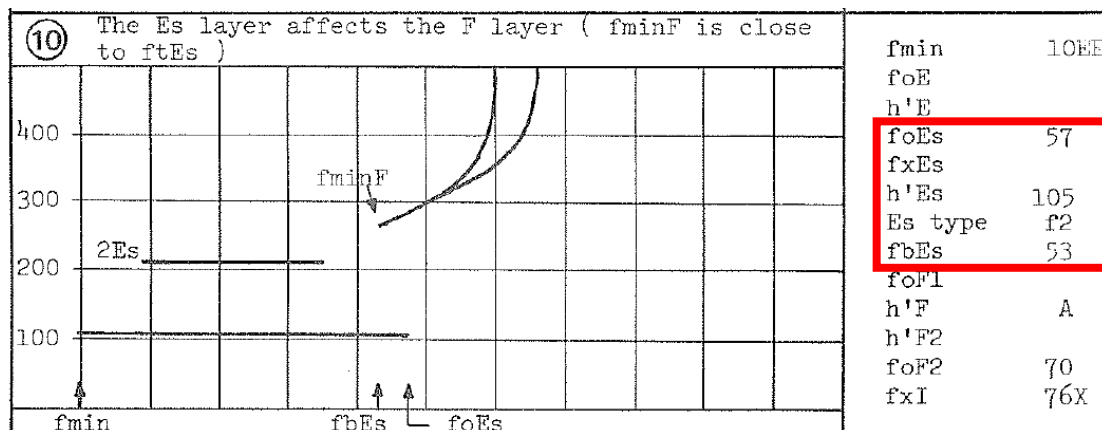


图. 存在 Es 描述, 并影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

有 Es 层描述, 并影响上面层次描述。此情形下, fbEs 标定为上面层次描述的最低频率。

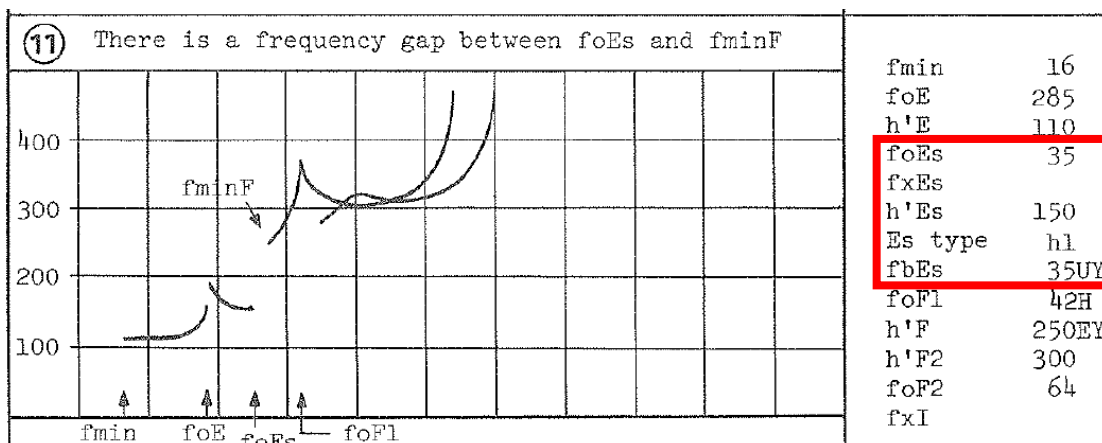


图. 存在 Es 描述, 并影响上面层次描述的情形下标定 fbEs

有 Es 层描述, 并影响上面层次描述, 但是 foEs 要比 fminF 小。此情形下, fbEs= (foEs) UY。

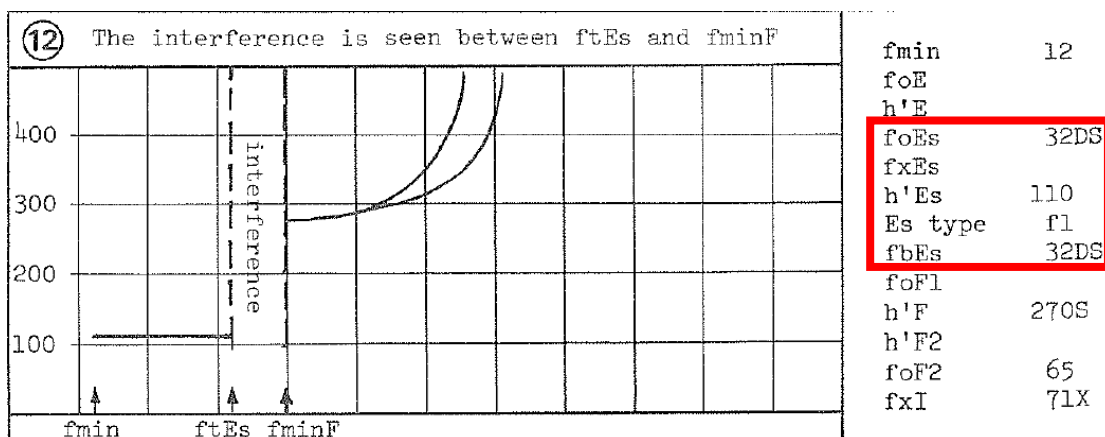


图. 存在 Es 描述，但有干扰影响上面层次描述的情形下标定 f_{bEs}

有 Es 层描述，但有干扰影响上面层次描述，可清晰分辨的 Es 描述最大频率要比 f_{minF} 小。此情形下， $f_{bEs} = (f_{oEs}) DS$ 。

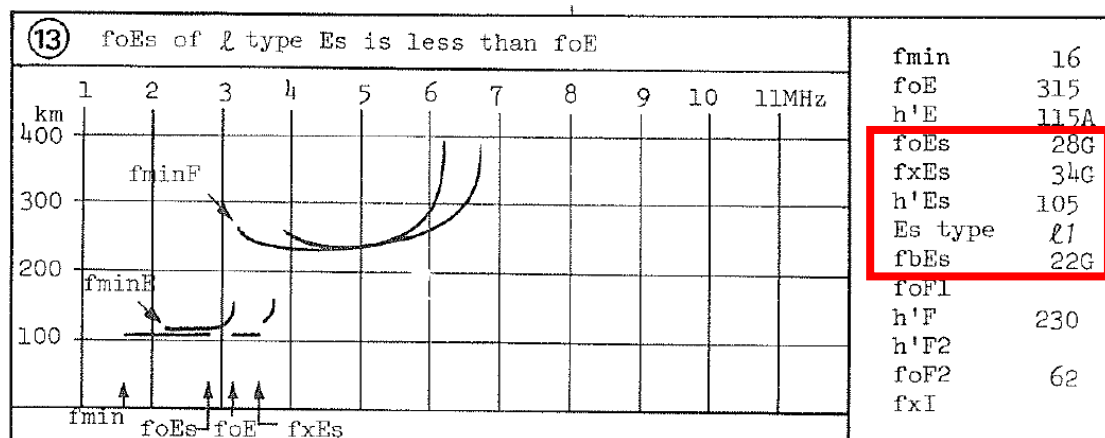


图. 存在 Es 描述，但 f_{oEs} 比 f_{oE} 低的情形下标定 f_{bEs}

有 ℓ 型 Es 层描述， f_{oEs} 比 f_{oE} 低。此情形下， $f_{bEs} = (f_{minE}) G$ 。

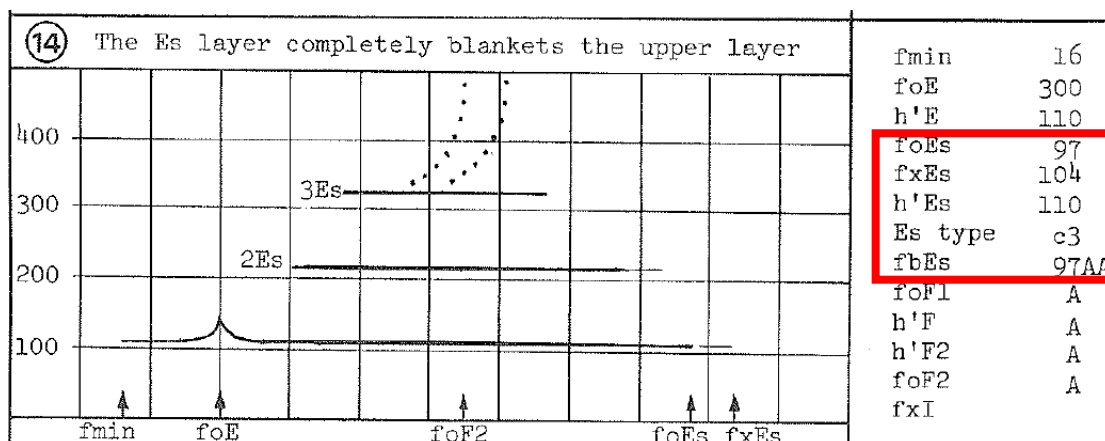


图. 存在 Es 描述，且将上面其它层次描述遮蔽的情形下标定 f_{bEs}

Es 描述清晰存在，且将上面其它层次描述完全遮蔽。此情形下，

$fbEs=(foEs)AA$ ，用 A 限定。

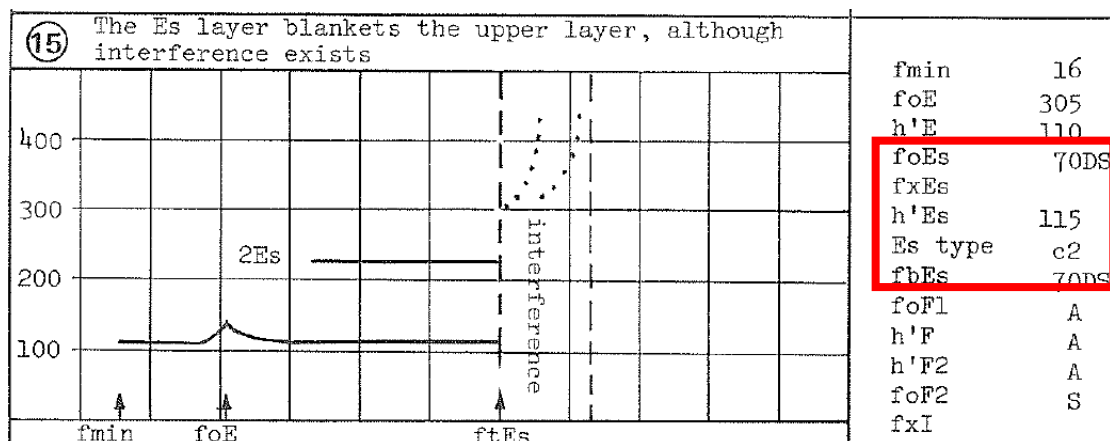


图. 存在 Es 描述，且将上面其它层次描述遮蔽的情形下标定 fbEs

Es 描述清晰存在，且将上面其它层次描述遮蔽，但存在干扰。此情形下，

$fbEs=(ftEs)DS$ ，用 S 限定。

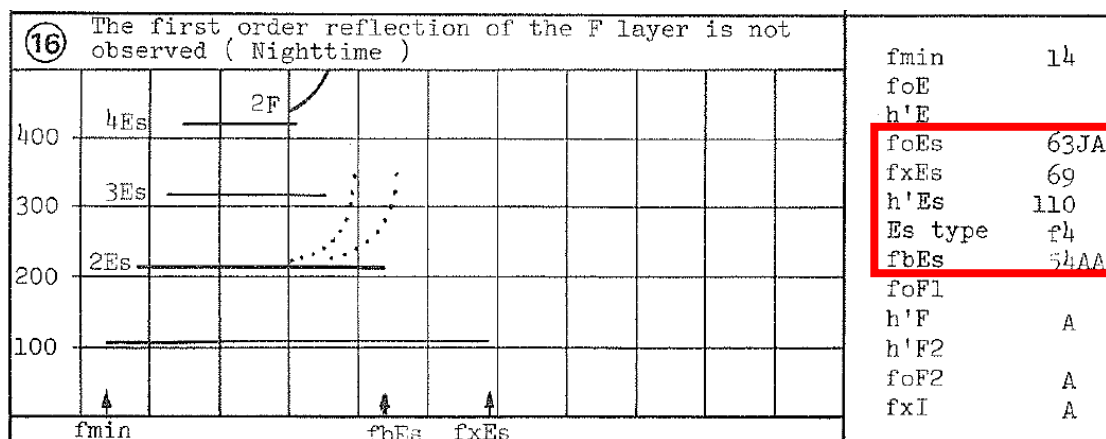


图. 存在 Es 描述，F 层没有一次回波描述，但有二次描述的情形下标定 fbEs

多次 Es 描述清晰存在，F 层没有一次回波描述，但有二次描述。此情形下，

fbEs 标定为 Es 二次回波描述最大频率，用 A 限定。

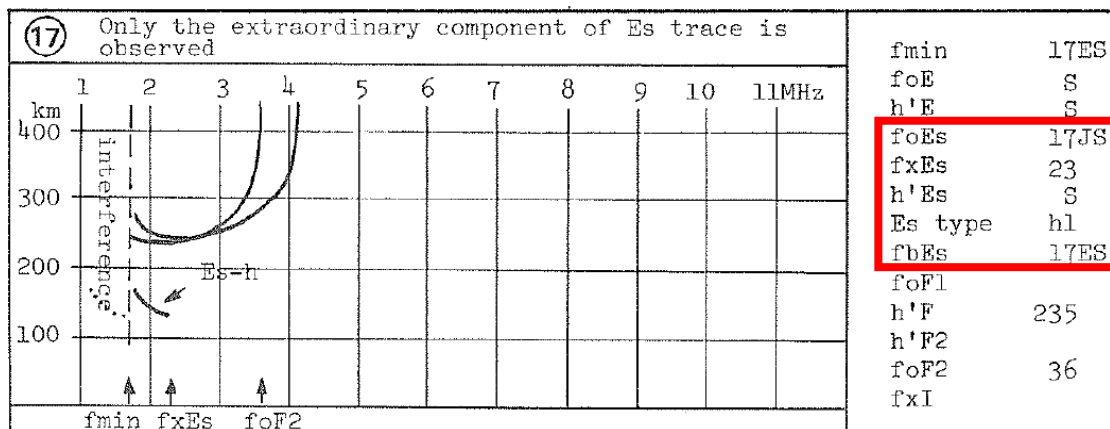


图. 只存在 Es 非常波描述的情形下标定 fbEs

频率低端有干扰，只存在 Es 非常波描述。此情形下，fbEs 标定为描述清晰的最低频率，用 S 限定。

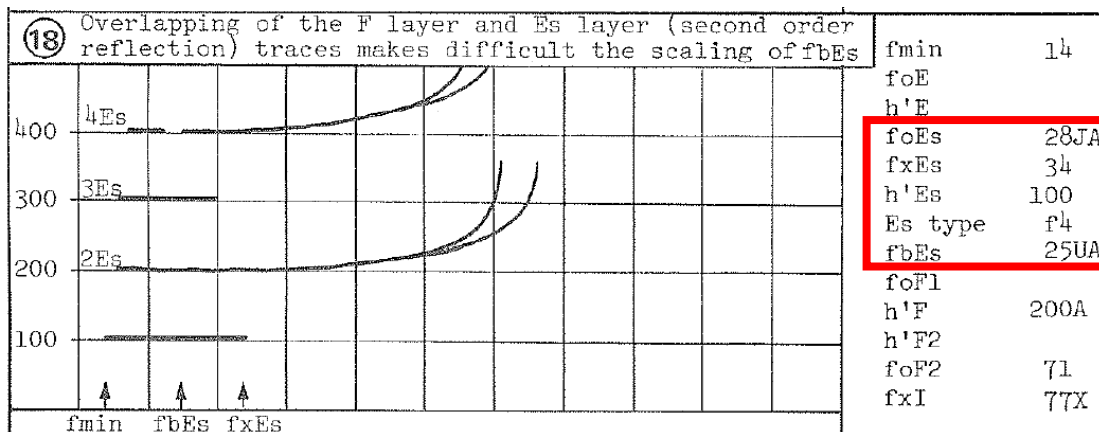


图. 存在 Es，但 F 层描述和 Es 多次回波混叠的情形下标定 fbEs

存在多次 Es 和 F 层回波描述，但 F 层描述和 Es 多次回波混叠。此情形下，借助 F 层二次回波描述。fbEs 标定为 F 层二次回波描述的最低频率，用 U 限定。在没有 F 层二次回波描述可以借助，根据各描述的特征（描述宽度和前后频高图信息），有时也可以判断。

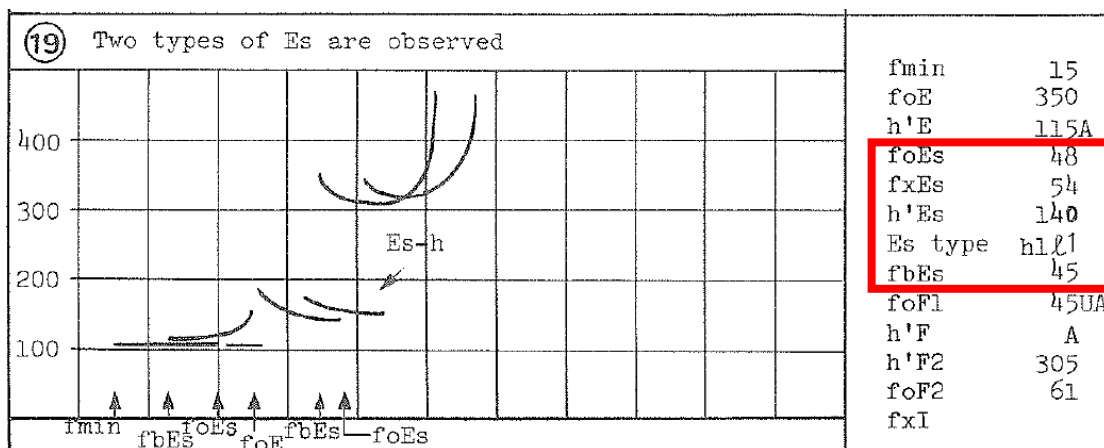


图. 存在多种类型 Es 的情形下标定 fbEs

存在多种类型 Es 回波描述。此情形下，分别标定各自的 fbEs，但以高的为代表。

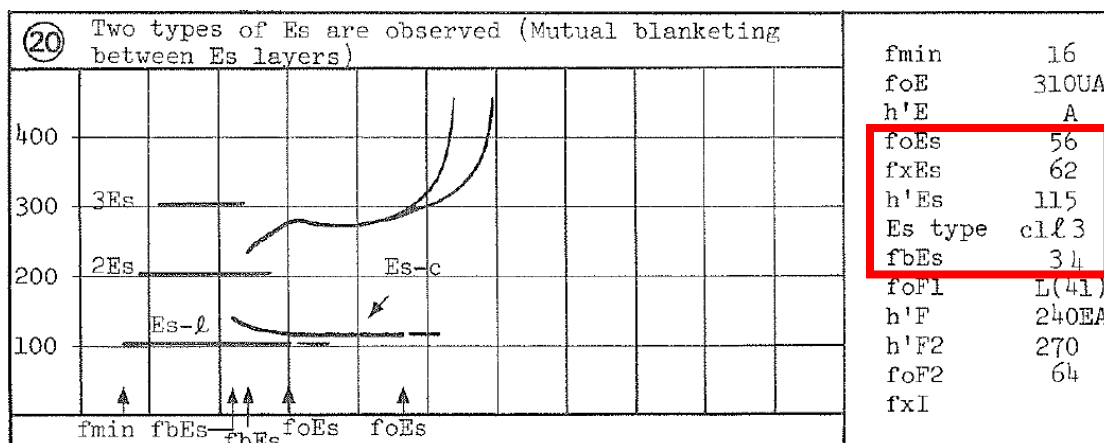


图. 存在多种类型 Es 的情形下标定 fbEs

存在多种类型 Es 回波描述。此情形下，分别标定各自的 fbEs，但以高的为代表。

2.2.7 参数 8: foF1

foF1 是 F1 层的临界频率，即 F1 层能反射寻常波的最高频率。

标定精度：foF1 的标定精度为 0.1MHz。

具体图例：

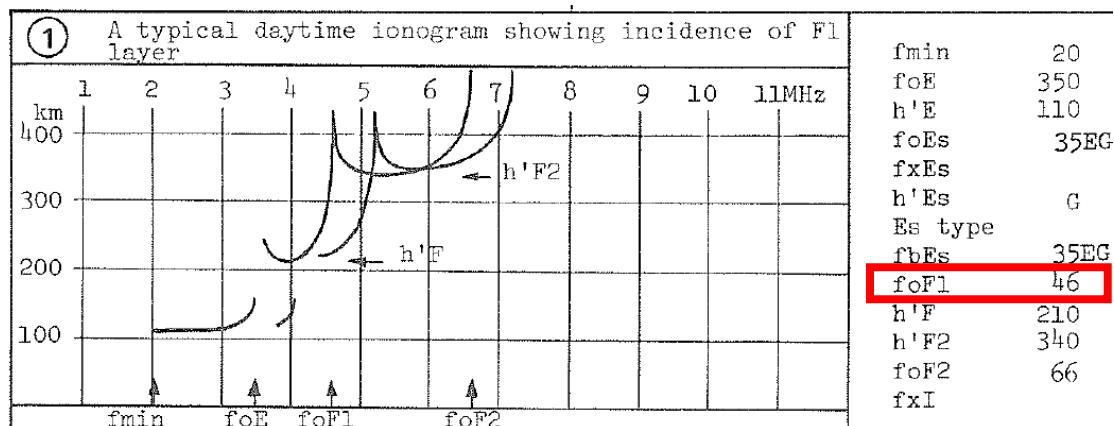


图. 典型 F1 描述情形下标定 foF1

存在典型 F1 回波描述。此情形下，标定 foF1 为 F1 寻常波描述的最大频率。

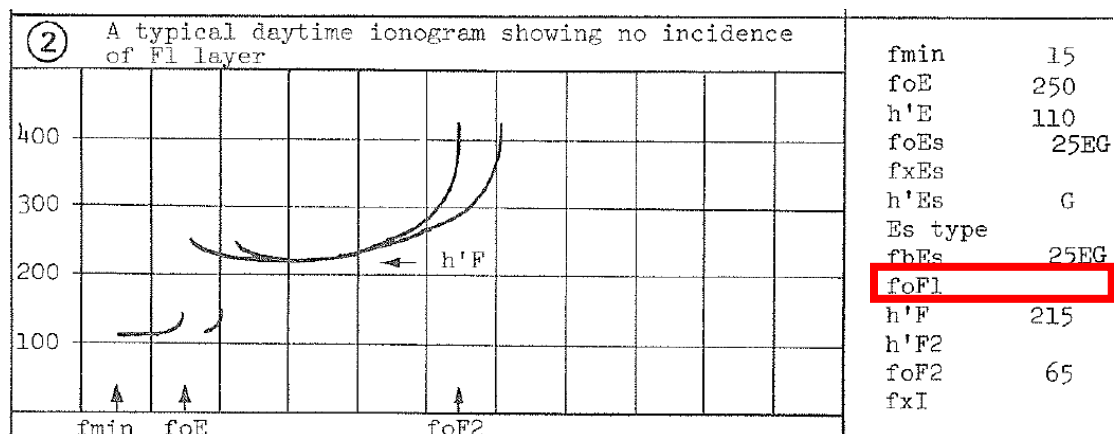


图. 没有 F1 描述情形下标定 foF1

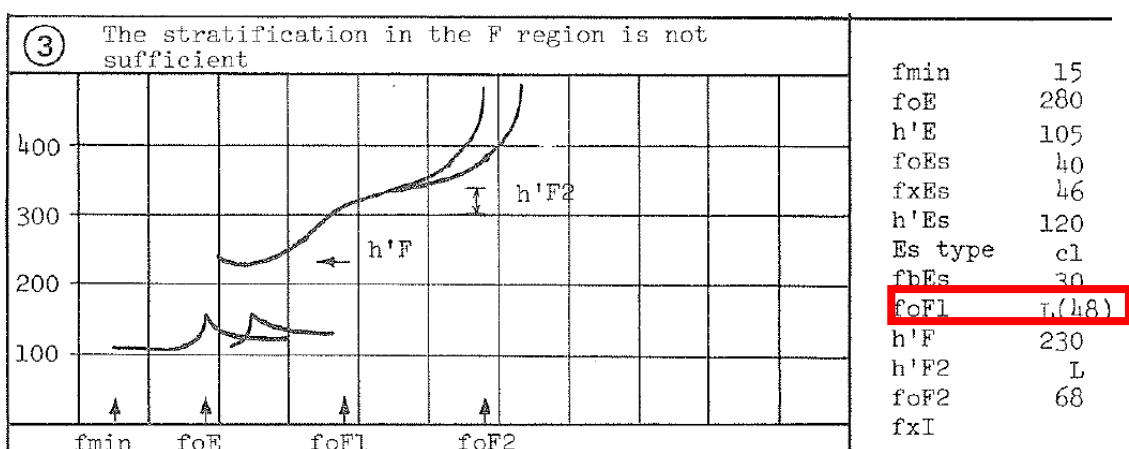


图. F 层分层不充分情形下标定 foF1

F 层描述有分层迹象，但不充分，没有形成明显尖突。此情形下标定 foF1，用符号 L。

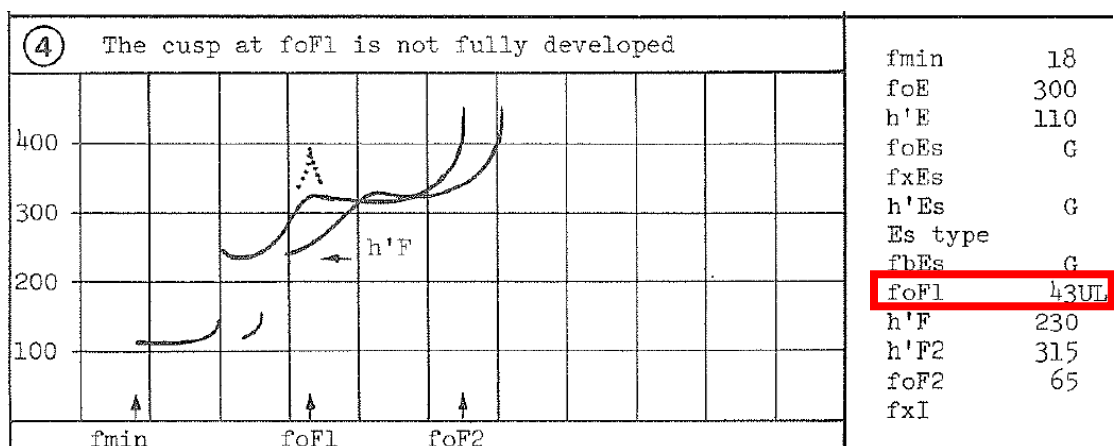


图. F 层分层不充分情形下标定 foF1

F 层描述有分层，形成尖突，但不充分。此情形下标定 foF1，用 U 限量，用符号 L 说明。

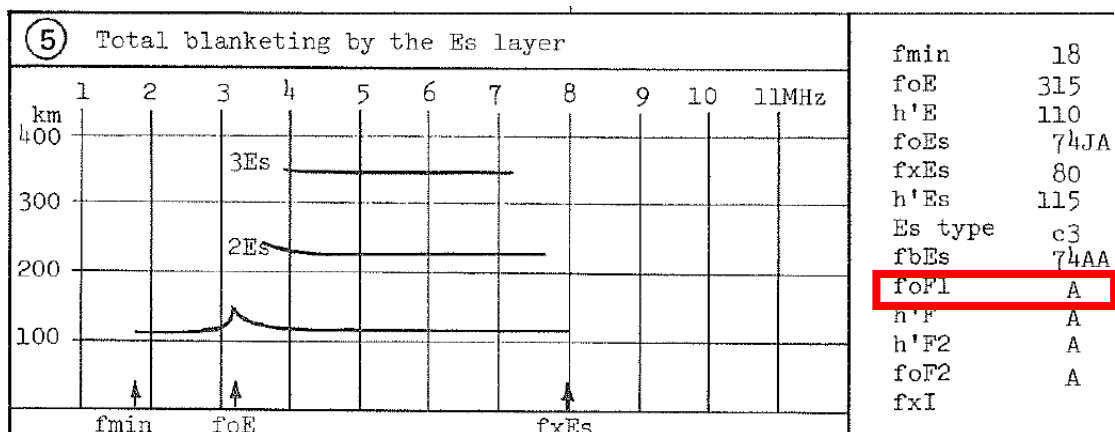


图. Es 遮蔽 F 层描述情形下标定 foF1

F 层描述被 Es 遮蔽。此情形下标定 foF1，用符号 A 说明。

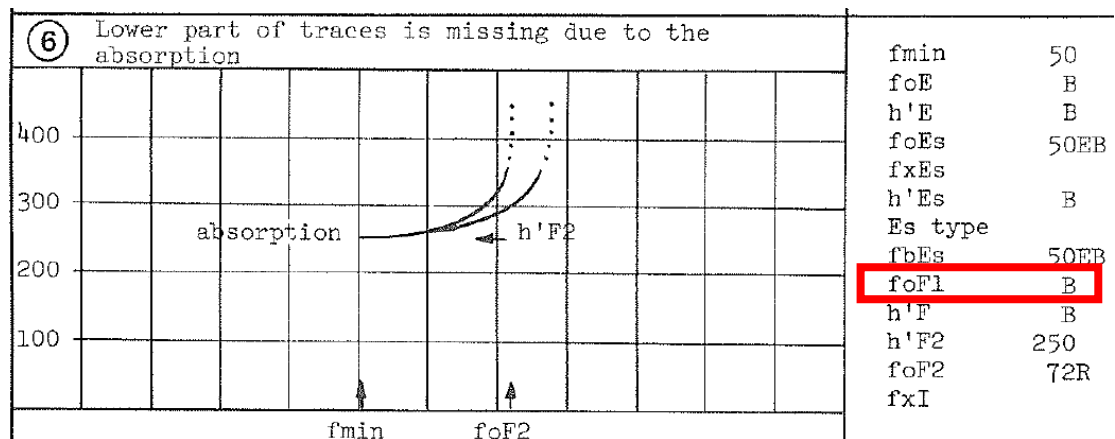


图. 因吸收频率低端没有描述情形下标定 foF1

因吸收频率没有 F 层低端描述。此情形下标定 foF1，用符号 B 说明。

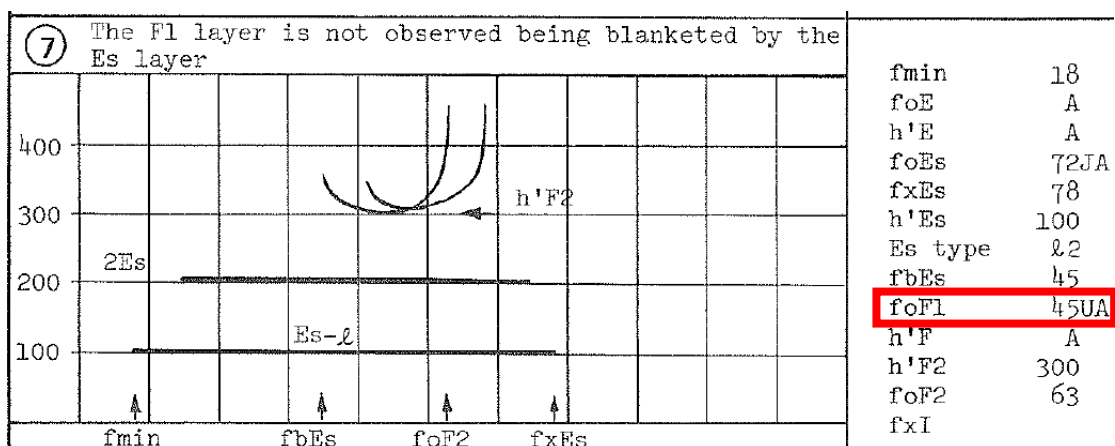


图. Es 遮蔽没有 F1 层描述情形下标定 foF1

F2 层描述低端有延迟，F1 层描述被 Es 遮蔽。此情形下从有延迟特征的 F2 层描述最低频率标定 foF1，用 U 限定，用符号 A 说明。

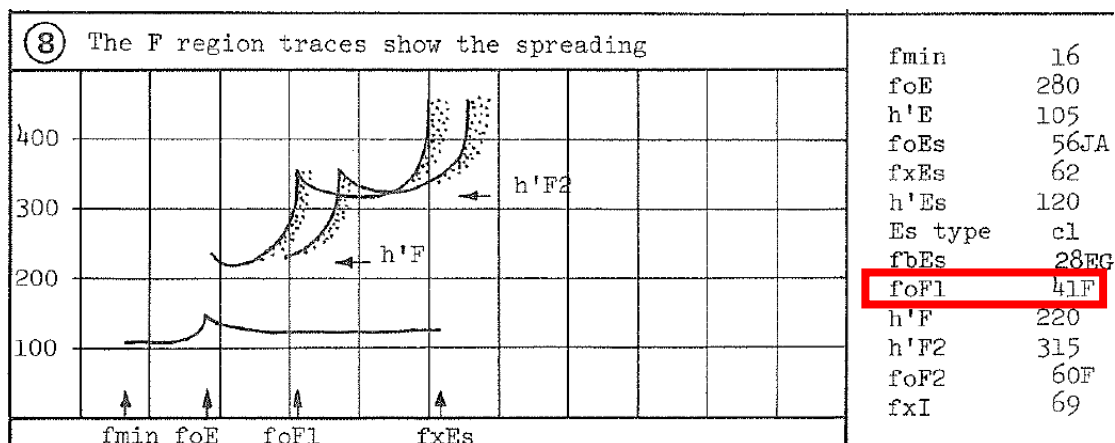


图. F1 层描述扩展情形下标定 foF1

F1 层描述扩展。此情形下标定 foF1，带用符号 F 说明。

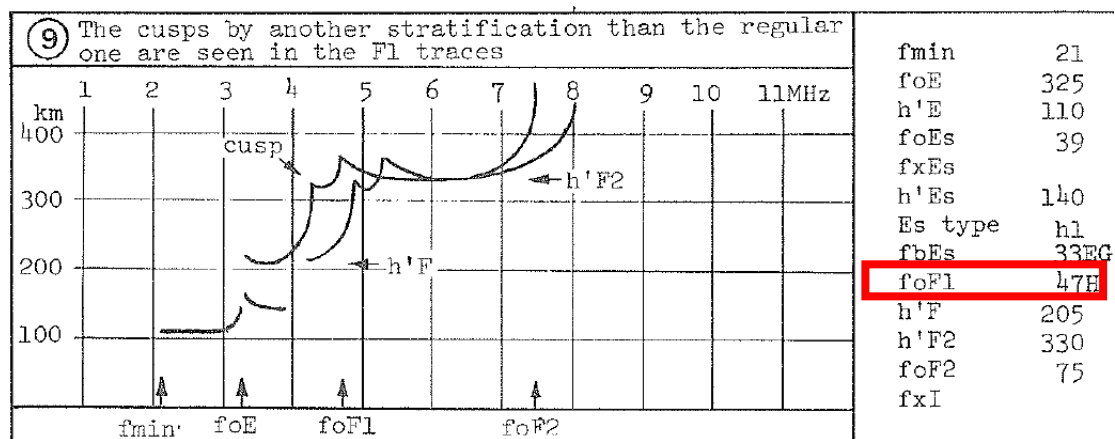


图. 除常规 F1 层描述外，F1 层描述还有尖突情形下标定 foF1

常规 F1 层描述可见，此外，F1 层描述还有尖突，可能由斜反射和 TID 引起。

此情形下标定 foF1，带用符号 H 说明。

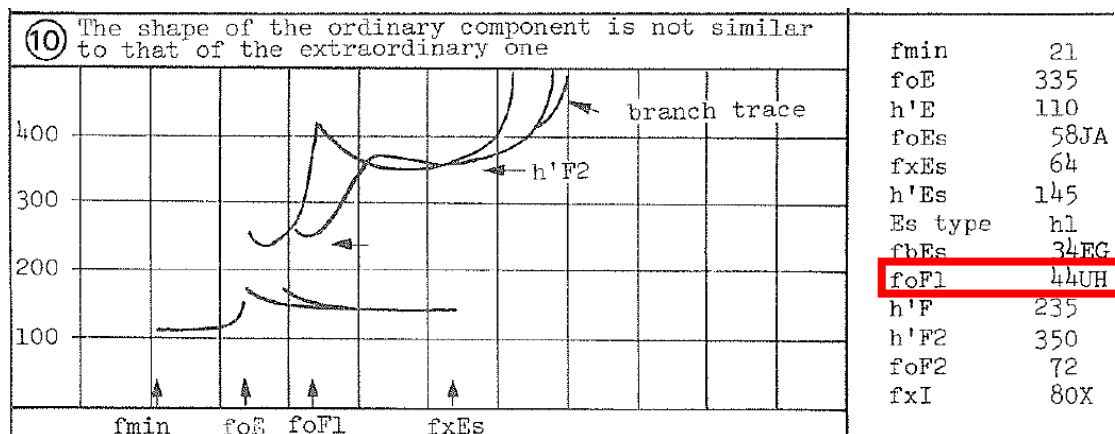


图. F1 层寻常波描述和非常波描述不相同情形下标定 foF1

F1 层描述可见，但寻常波描述和非常波描述不太相同，可能由斜反射导致。

此情形下标定 foF1，带用符号 UH 说明。

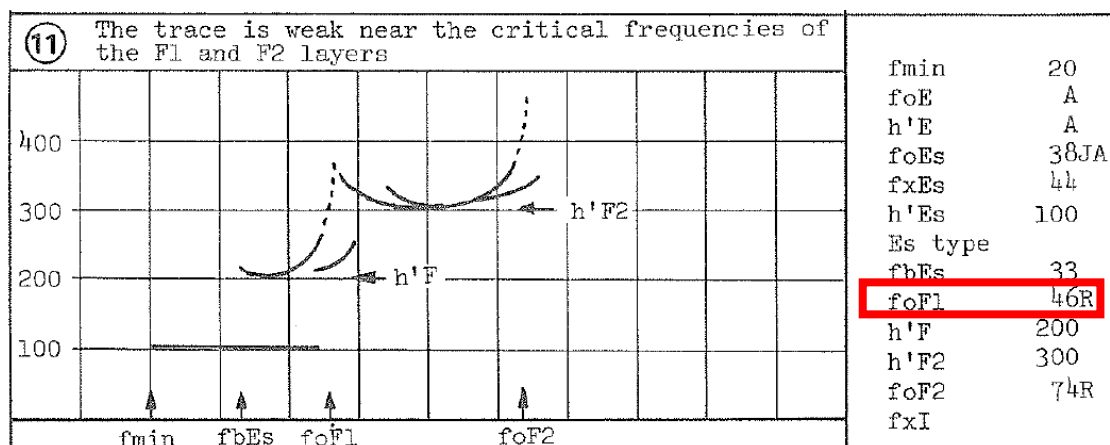


图. F1 层和 F2 层描述之间的描述很弱情形下标定 foF1

F1 层描述和 F2 层描述均可见，但两者之间的描述很微弱，存在间隔。此情形下标定 foF1，带用符号 R 说明。

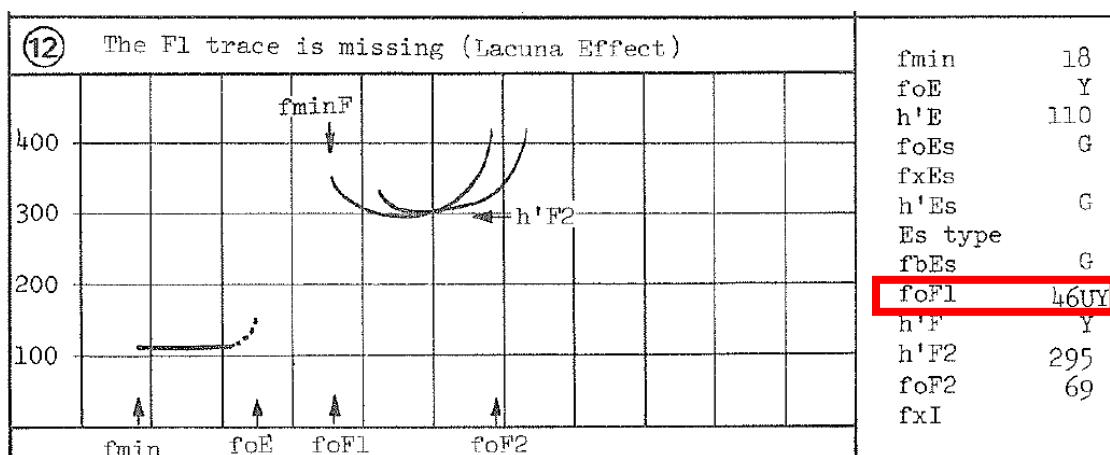


图. F1 层描述缺失情形下标定 foF1

F2 层描述可见，但 F1 层描述缺失。此情形下用 F2 描述的最高频率标定 foF1，带用符号 UY 说明。

2.2.8 参数 9: h' F

h'F 是 F 层虚高，定义为整个 F 层寻常波描述的最高虚高。白天，F 层可能分裂为 F1 层和 F2 层，夜间通常只有一层。

标定精度：h'F 的标定精度为 5km。

具体图例：

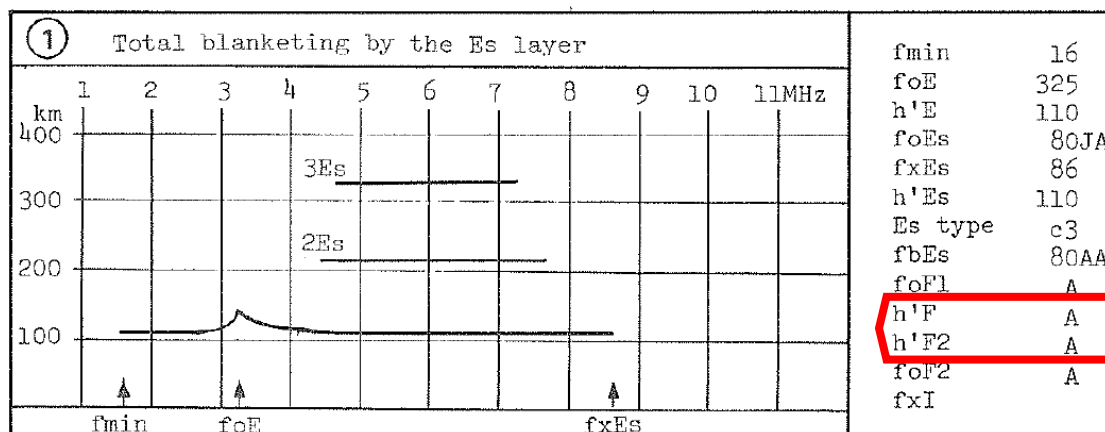


图. F 层描述被 Es 遮蔽情形下标定 h'F

F 层描述被 Es 遮蔽，常见于夏季。此情形下 h'F，带用符号 A 说明。在只有 F1 层描述被遮蔽，F2 层描述可见时，h'F 带用符号 A 说明。

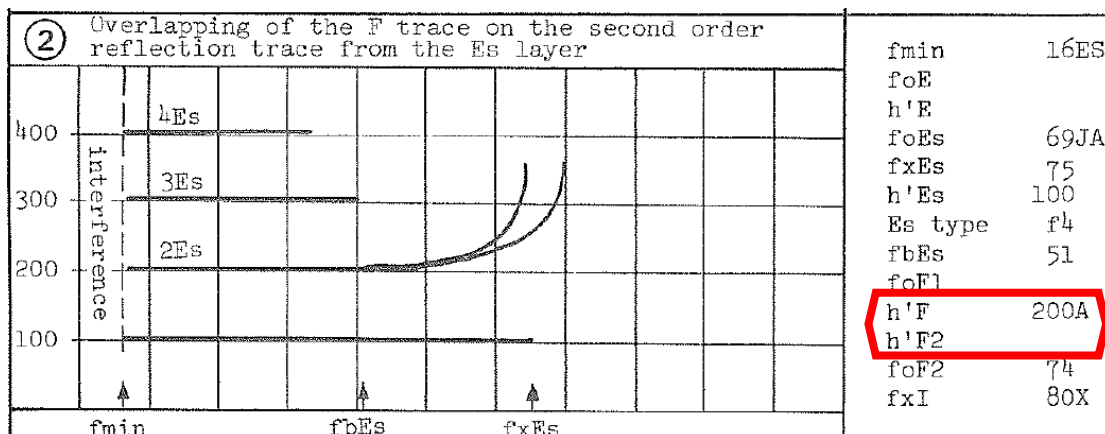


图. F 层描述和 Es 多次回波描述重叠情形下标定 h'F

F 层描述和 Es 多次回波描述重叠。此情形下 h'F，带用符号 A 说明。

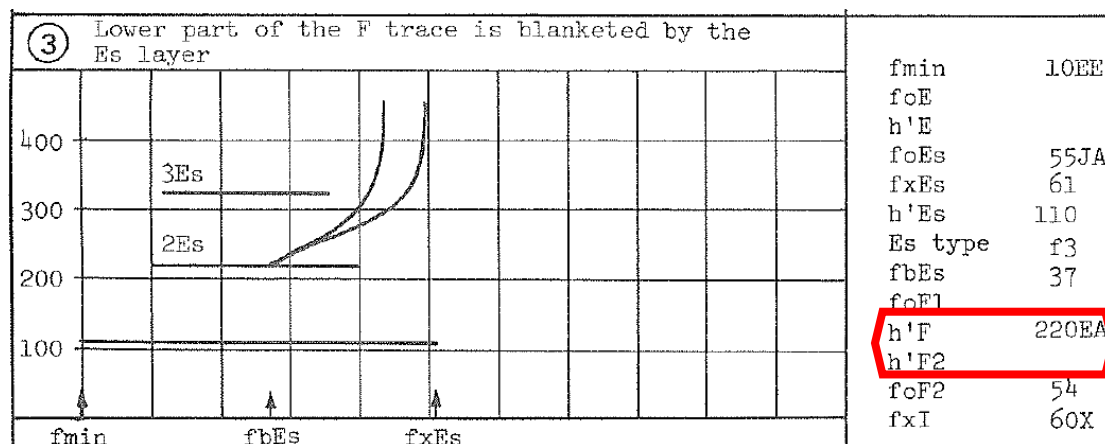


图. F 层低端描述被 Es 遮蔽情形下标定 h'F

F 层低端描述被 Es 遮蔽。此情形下 h'F，带用符号 EA 说明。

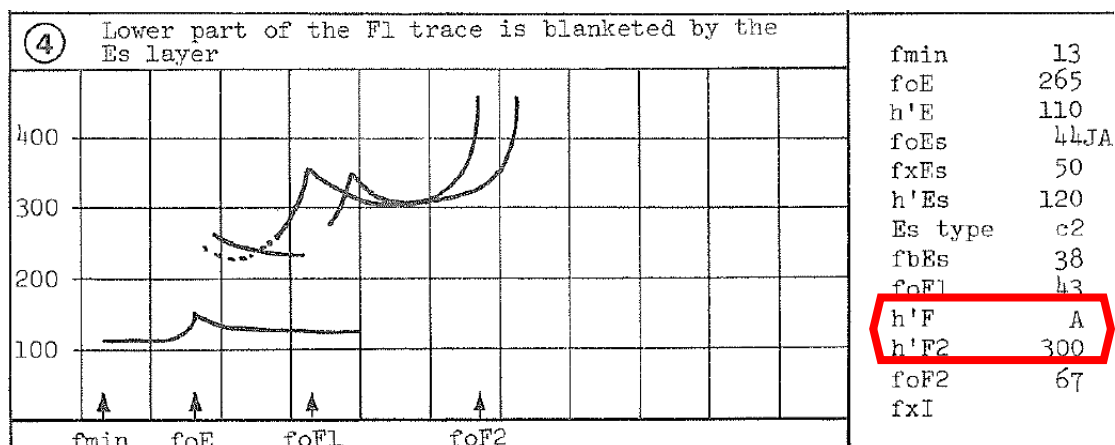


图. F1 层低端描述被 Es 遮蔽情形下标定 h'F

F1 层低端描述被 Es 遮蔽。此情形下 h'F，用符号 A 说明。

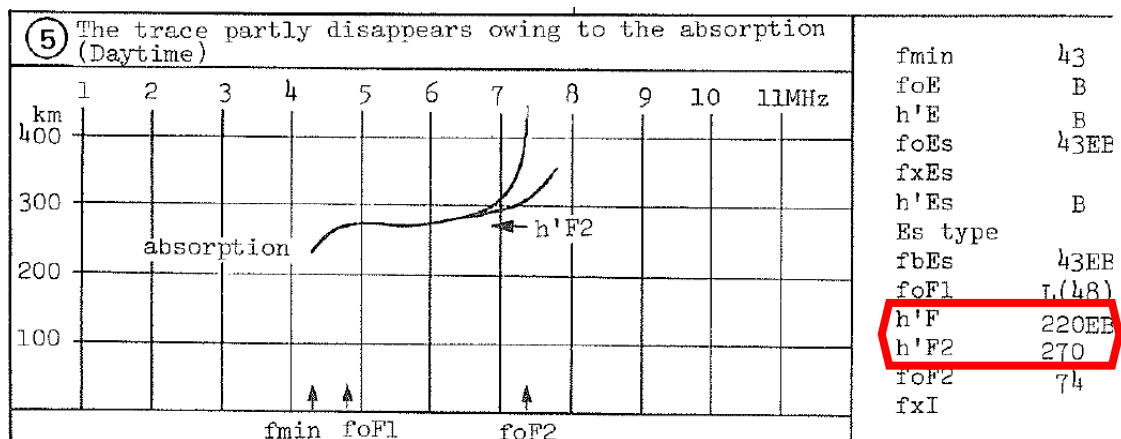


图. 因吸收部分 F 层描述消失情形下标定 h'F

因吸收，部分 F 层描述消失。此情形下 h'F，带有符号 EB 说明。

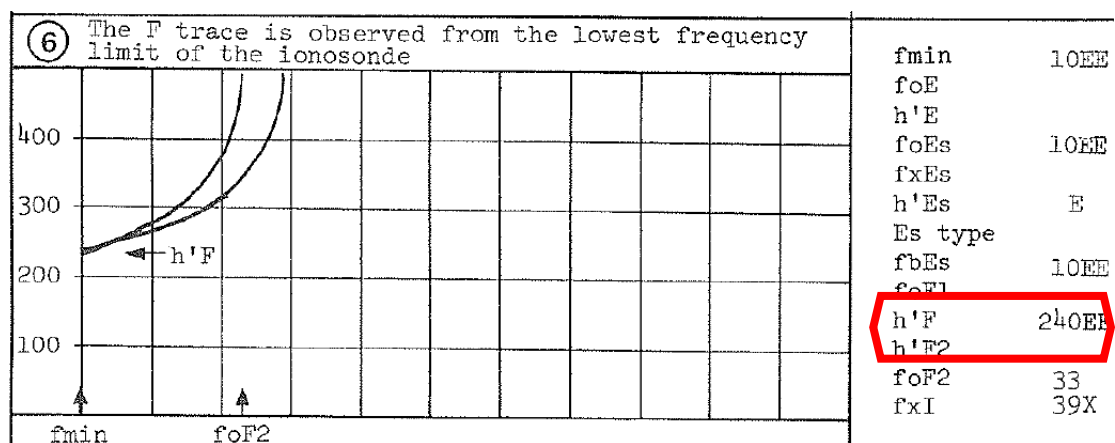


图. F 层描述低端到达测高仪下限情形下标定 h'F

F 层描述低端到达测高仪下限。此情形下 h'F，带有符号 EE 说明。

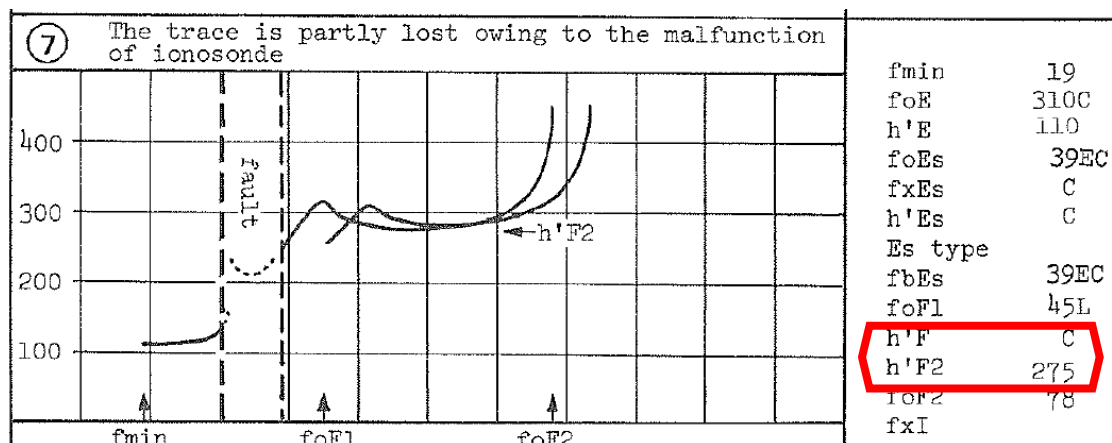


图. 因为测高仪原因 F 层描述部分丢失情形下标定 h'F

测高仪原因, F 层描述部分丢失。此情形下 h'F, 用符号 C 说明。

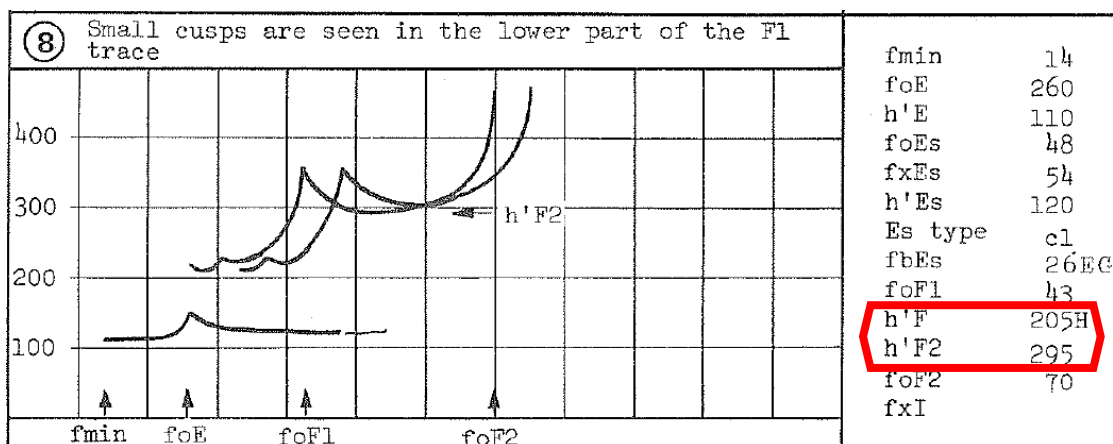


图. F1 层描述低端有小尖突情形下标定 h'F

F1 层描述低端存在有小尖突。此情形下 h'F, 带有符号 H 说明。当 F1 层描述与小尖突描述部分有间隔, 则不考虑该部分。

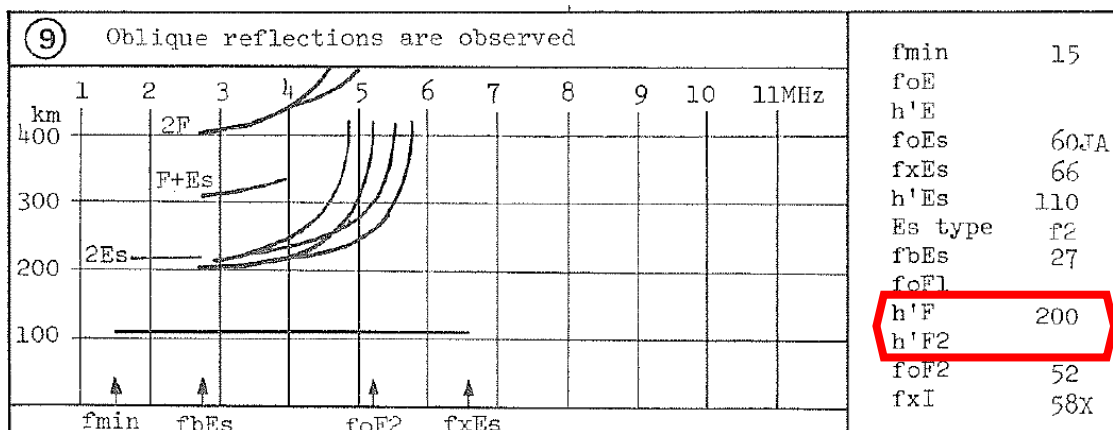


图. 存在斜反射描述情形下标定 h'F

头顶和斜反射描述均存在。此情形下 h'F, 从头顶部分进行标定。

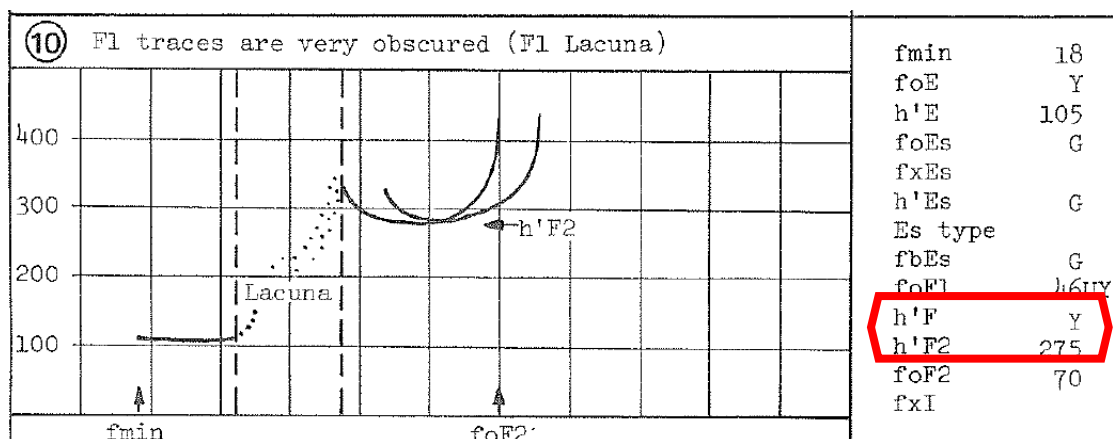


图. F1 描述模糊情形下标定 h'F

F1 描述模糊。此情形下 h'F，用符号 Y 说明。

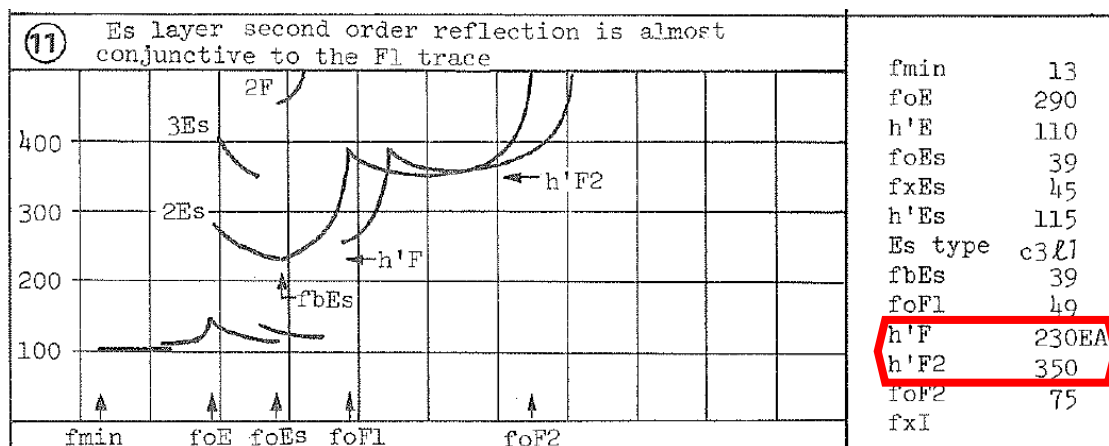


图. F1 描述和 Es 二次回波描述差不多连在一起情形下标定 h'F

F1 描述和 Es 二次回波描述差不多连在一起。此情形下 h'F，带用符号 EA 说明。

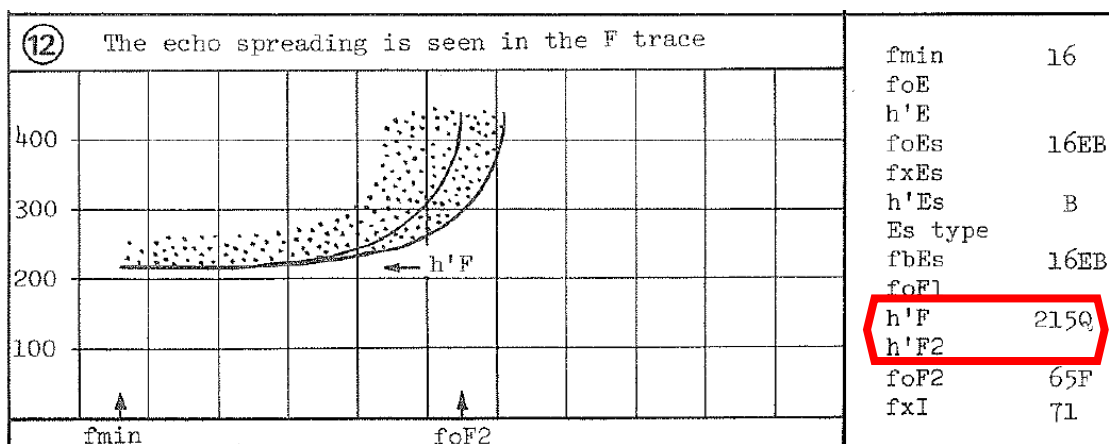


图. F 描述有扩展情形下标定 h'F

F 描述有扩展。此情形下 h'F，带用符号 Q 说明。当下边界不能准确了，则

带用符号 UQ 说明。

2.2.9 参数 10: h' F2

h'F2 是 F2 层虚高，定义为 F 层最高分支寻常波描述迹的最低虚高。

标定精度：h'F2 的标定精度为 5km。

标定注意之处：

- (1) 当没有 F1 层出现，不单独标定 h'F2。
- (2) h'F2 从 F 层寻常波描述迹判读，当其水平部分因某种原因缺失时，应加符号说明。在 F2 层寻常波描述迹延伸到 F1，在低段没有水平部分，用 L 说明。
- (3) h'F2 采用与 h'F 相同的规则。

具体图例：

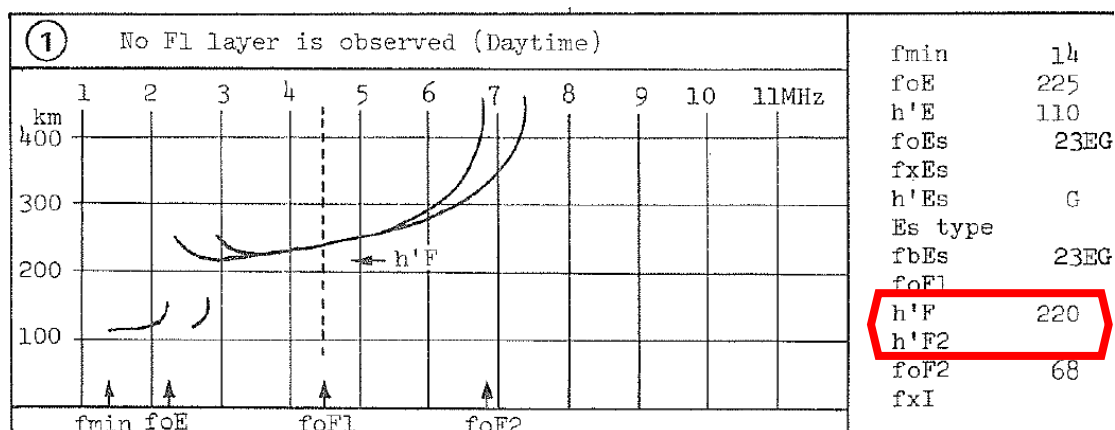


图. 没有 F1 层描述情形下标定 h'F2

存在 F2 层描述，但没有 F1 层描述。此情形下 h'F2 的值填在 h'F，h'F2 位置本身空。

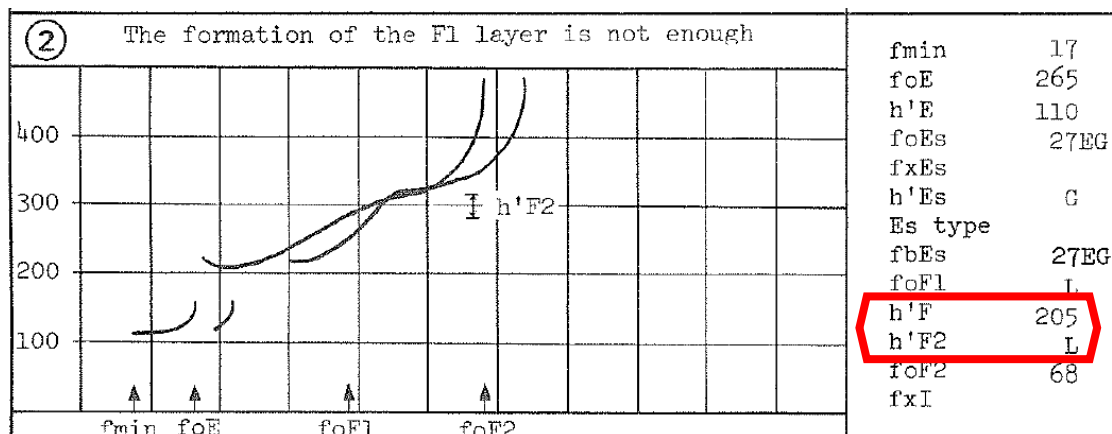


图. F1 层形成不够情形下标定 h'F2

F1 层形成不够。此情形下 h'F2 用 L 说明。

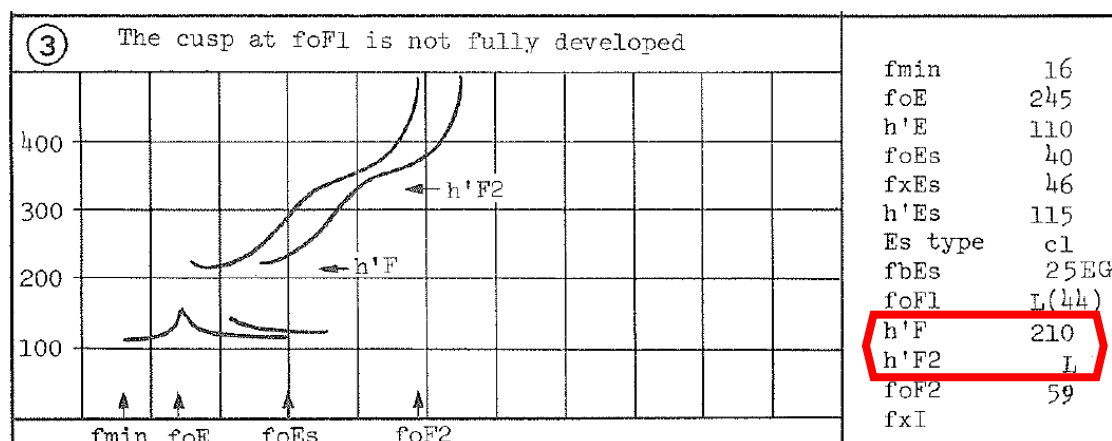


图. F1 层尖突没有充分发展情形下标定 h'F2

F1 层尖突没有充分发展。此情形下 h'F2 用 L 说明。

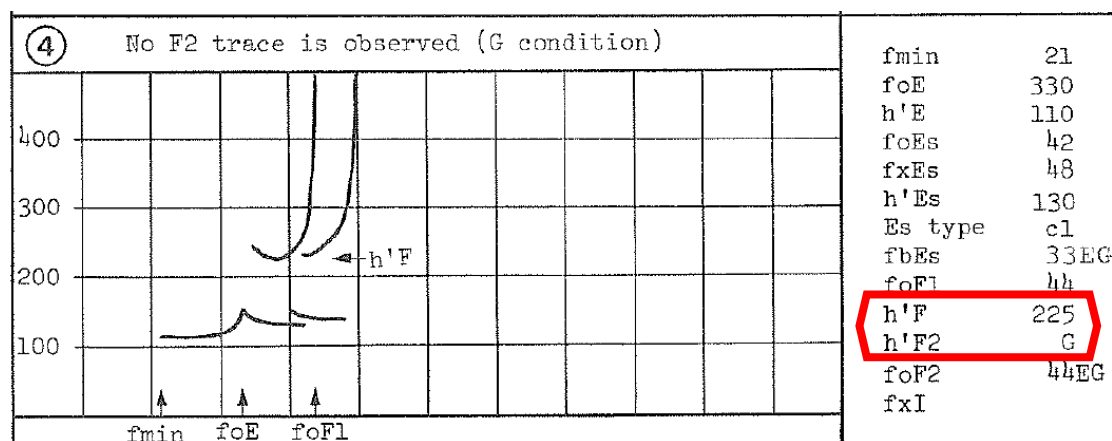


图. F2 层描述观测不到情形下标定 h'F2

F2 层描述观测不到，但 F1 层描述充分发展，常出现在磁暴期间。此情形下 h'F2 用 G 说明。

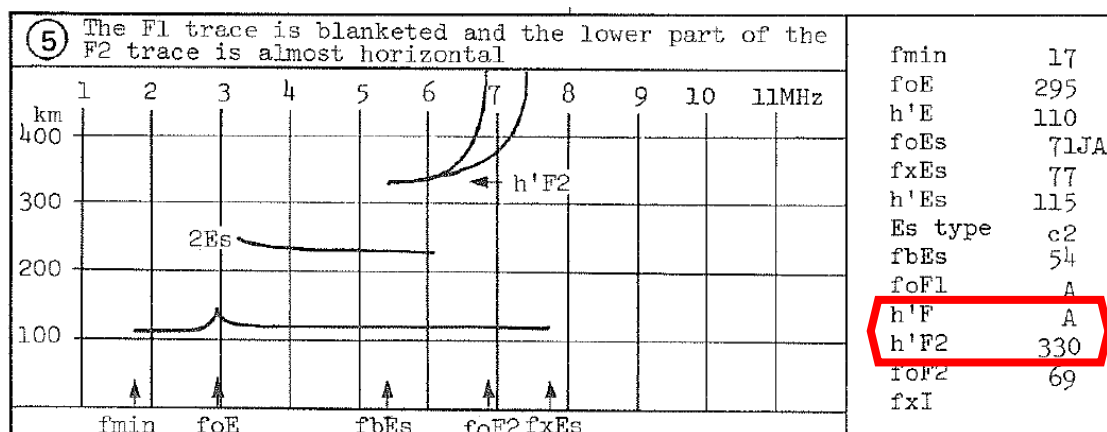


图. F1 层描述被 Es 遮蔽, 但 F2 层描述有水平部分情形下标定 h'F2

F1 层描述被 Es 遮蔽, 但 F2 层描述有水平部分。此情形下 h'F2 从水平部分标定。

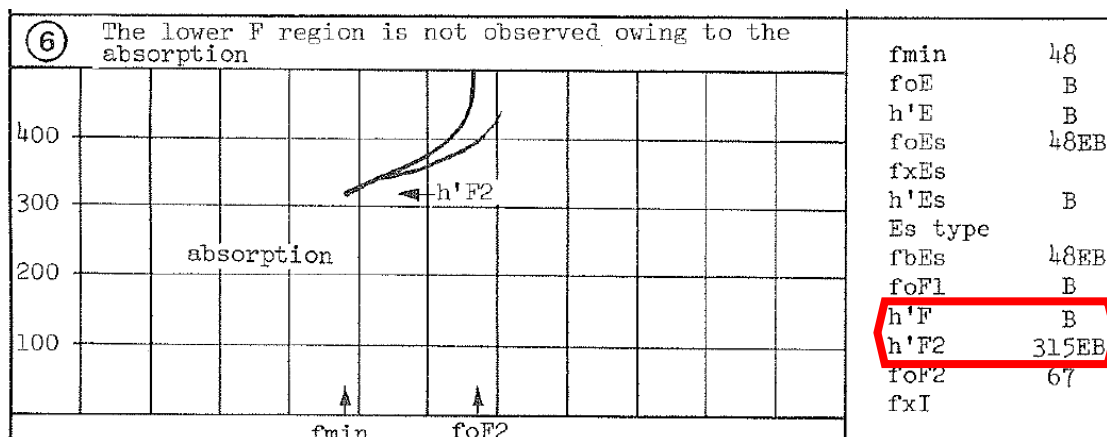


图. F 层描述低端被吸收情形下标定 h'F2

因吸收, F 层描述低端被吸收。此情形下, h'F2 取 F 层描述最低虚高, 带 EB 说明。

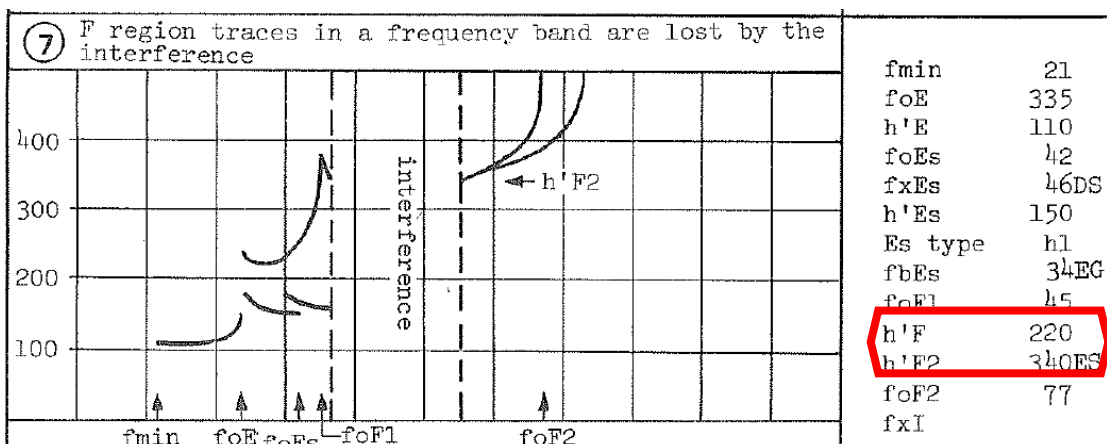


图. 因为干扰部分 F 层描述丢失情形下标定 h'F2

因为干扰，部分 F 层描述丢失。此情形下， $h'F2$ 取 F 层描述最低虚高，带 ES 说明。

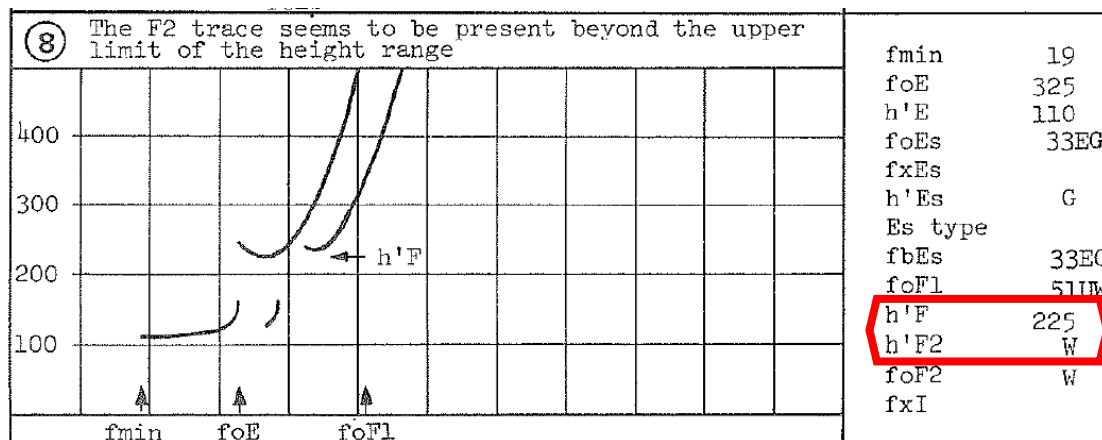


图. F2 层描述似乎存在于高度上限以上情形下标定 $h'F2$

F2 层描述似乎存在于高度上限以上。此情形下， $h'F2$ 用 W 说明。

2.2.10 参数 11: foF2

foF2 是 F2 层临界频率，定义为 F 层能反射寻常波的最高频率。

标定精度: foF2 的标定精度为 0.1MHz。

标定注意之处:

(1) foF2 不从斜描述判断。

(2) 有时，因为干扰和电离层以及测高仪的原因，F2 层临界频率附近的描述没有清晰记录到。建议从 F 层寻常波描述进行外插判读。

具体图例:

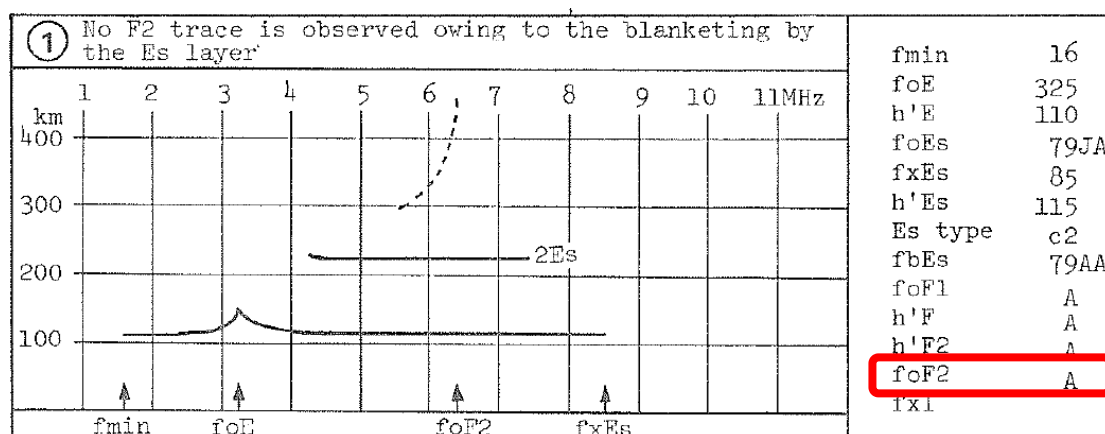


图. Es 遮蔽导致没有 F2 层描述情形下标定 foF2

Es 遮蔽导致没有 F2 层描述。此情形下，foF2 用 A 说明。

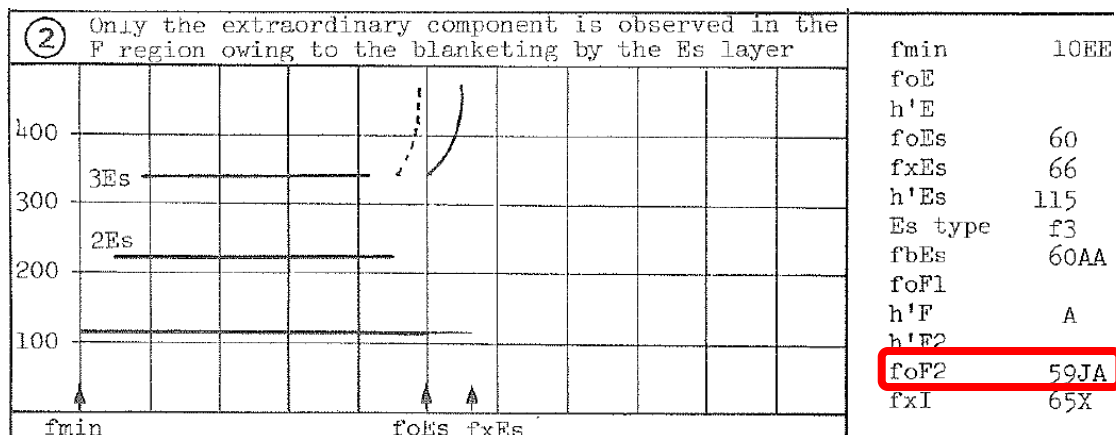


图. Es 遮蔽导致只有 F2 层非常波描述情形下标定 foF2

Es 遮蔽导致只有 F2 层非常波。此情形下，foF2 从 F2 层非常波描述和磁回旋频率估计，带 JA 符号说明。

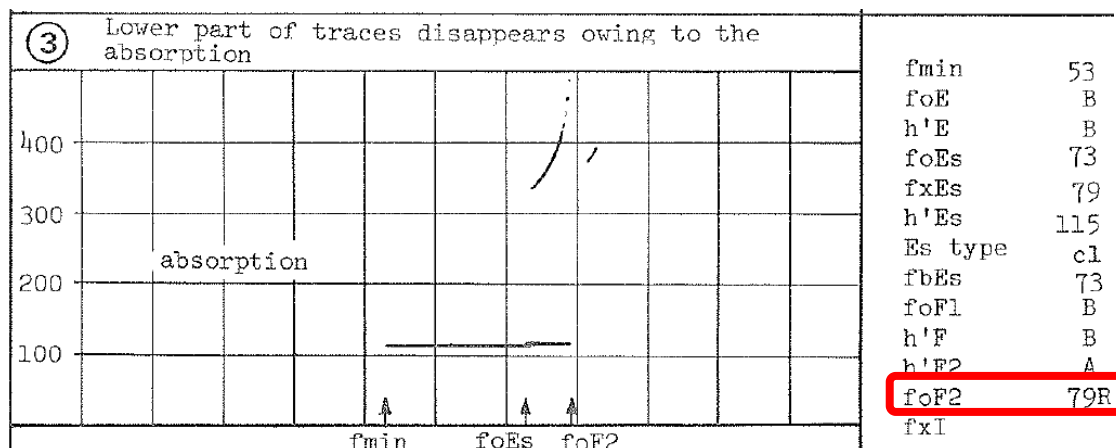


图. 吸收导致低端描述消失情形下标定 foF2

吸收导致低端描述消失。此情形下，foF2，带 R 符号说明。当没有 F 层描述，用 B 说明。

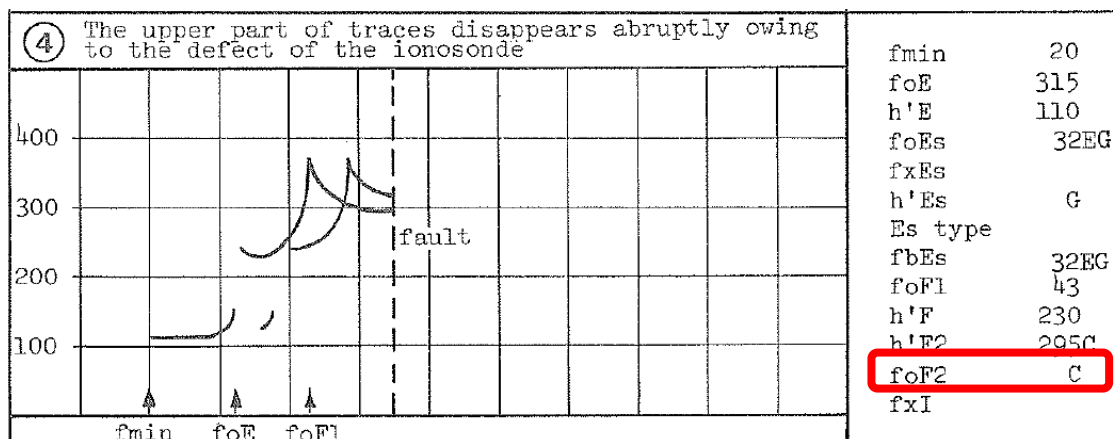


图. 测高仪原因导致高端描迹缺失情形下标定 foF2

测高仪原因导致高端描迹缺失。此情形下，foF2 用 C 符号说明。

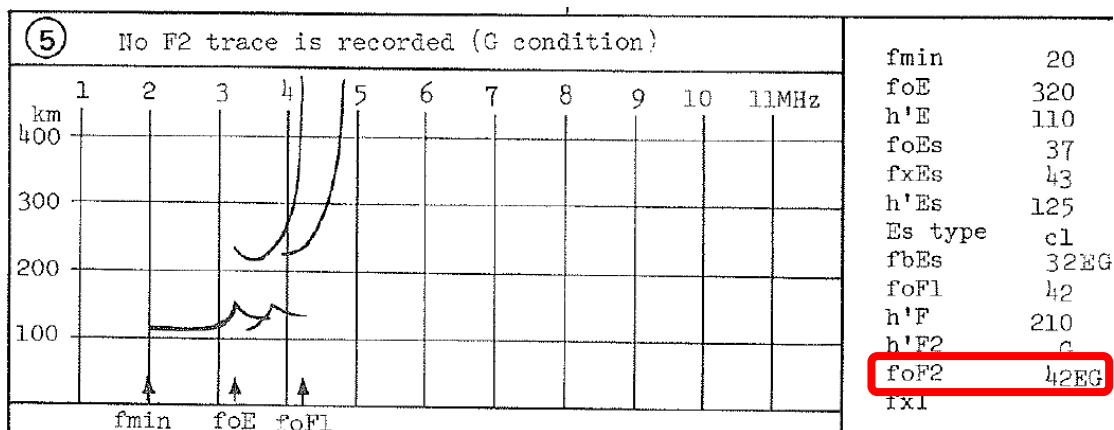


图. F2 层描迹观测不到情形下标定 foF2

F2 层描迹观测不到，但 F1 层描迹充分发展，常出现在磁暴期间。此情形下 foF2 用 foF1，带 EG 说明。

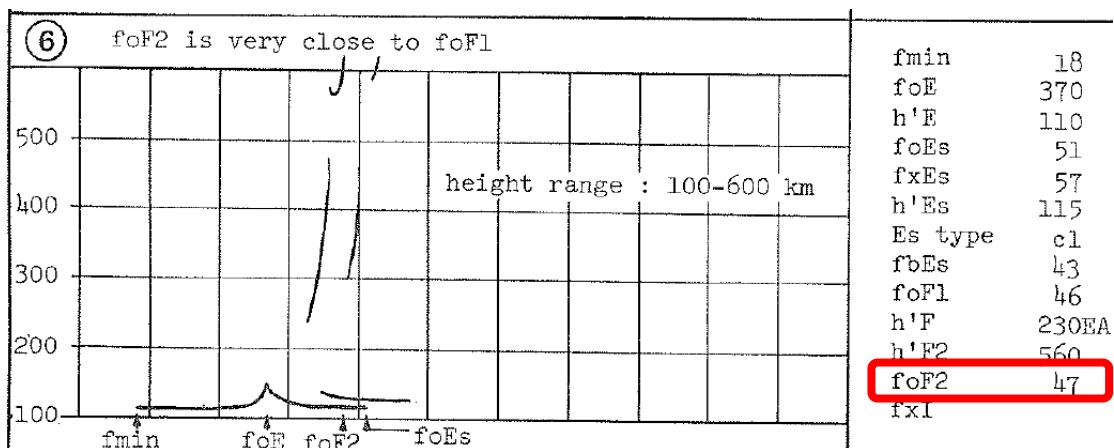


图. foF2 非常靠近 foF1 情形下标定 foF2

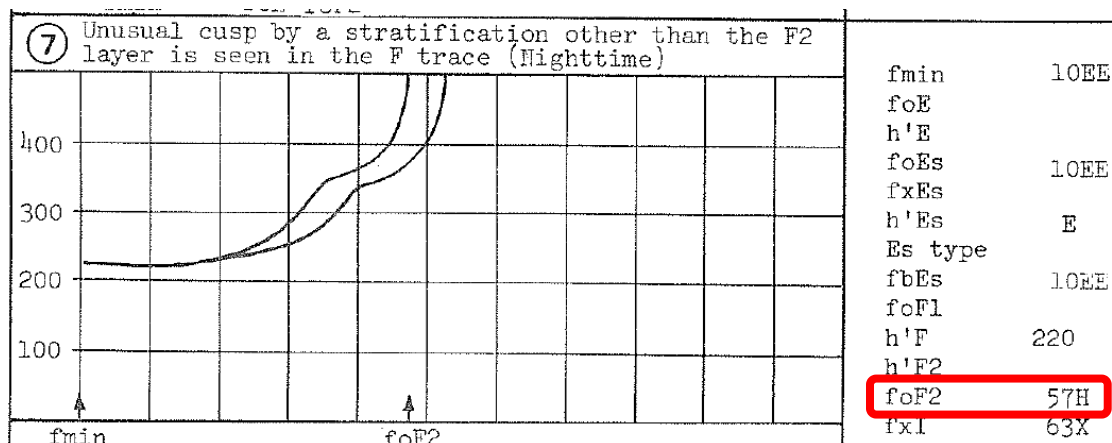


图. F 层描述存在不常出现尖突情形下标定 foF2

夜间 F 层描述存在不常出现尖突,可能出现在磁暴期间。此情形下 foF2 带 H 符号说明。

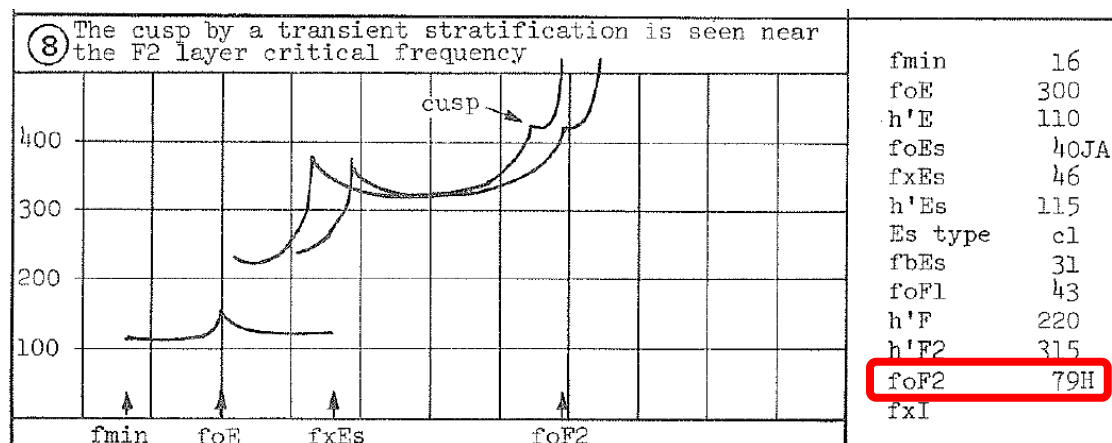


图. F2 层描述瞬时出现尖突情形下标定 foF2

F2 层描述瞬时出现尖突。此情形下 foF2 带 H 符号说明。

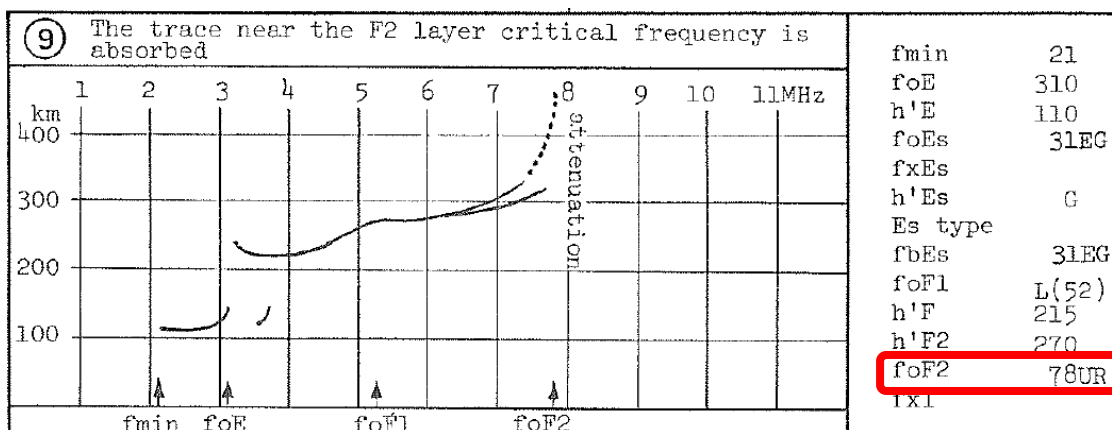


图. F2 层描述在 foF2 附近被吸收情形下标定 foF2

F2 层描述在 foF2 附近被吸收。此情形下 foF2 带 UR 符号说明。

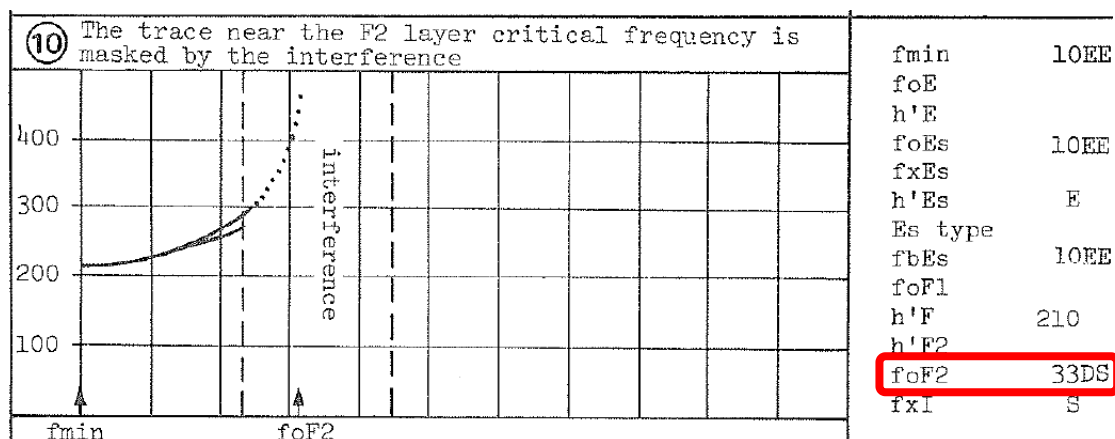


图. F2 层描述在 foF2 附近被干扰影响下标定 foF2

F2 层描述在 foF2 附近被干扰。此情形下, foF2 外插标定, 并带 DS 符号说明。

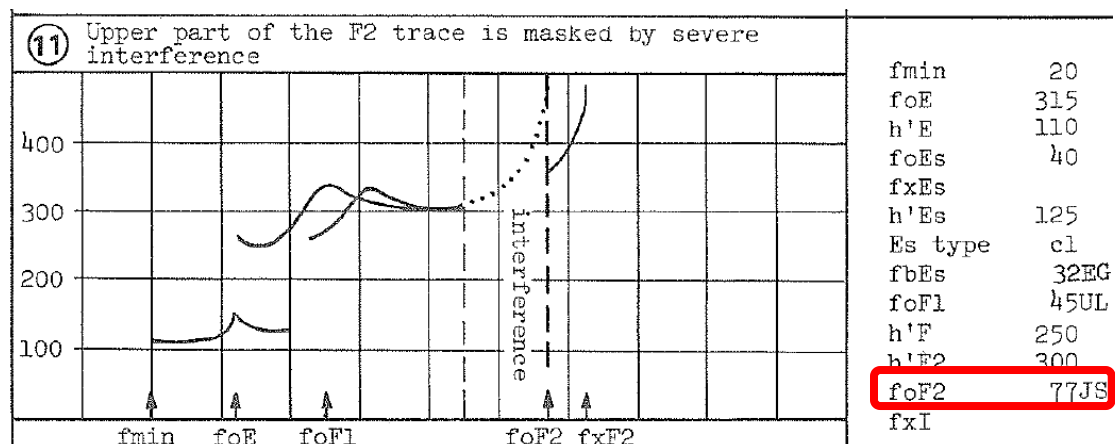


图. F2 层描述高端被严重干扰情形下标定 foF2

F2 层描述高端被严重干扰。此情形下 foF2 带 JR 符号说明。

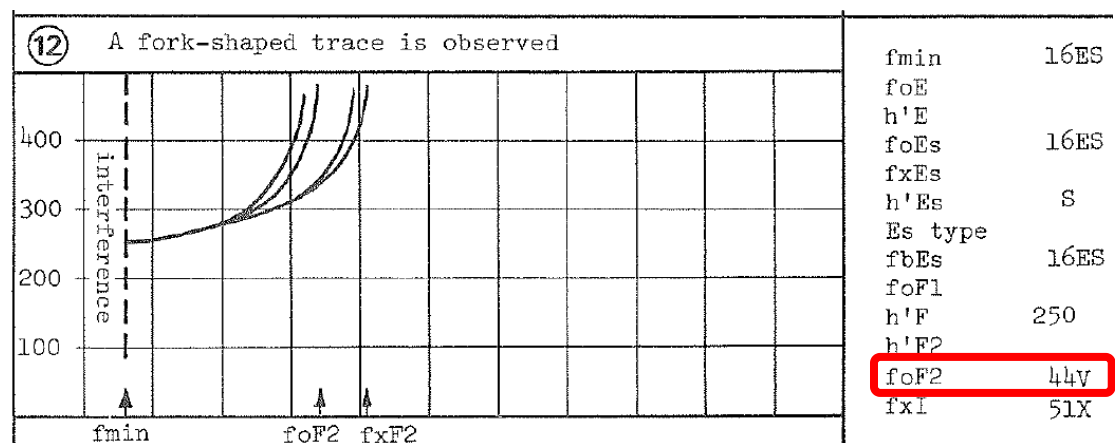


图. F2 层描述高端出现分叉情形下标定 foF2

F2 层描述高端出现分叉。此情形下, foF2 带 V 符号说明。

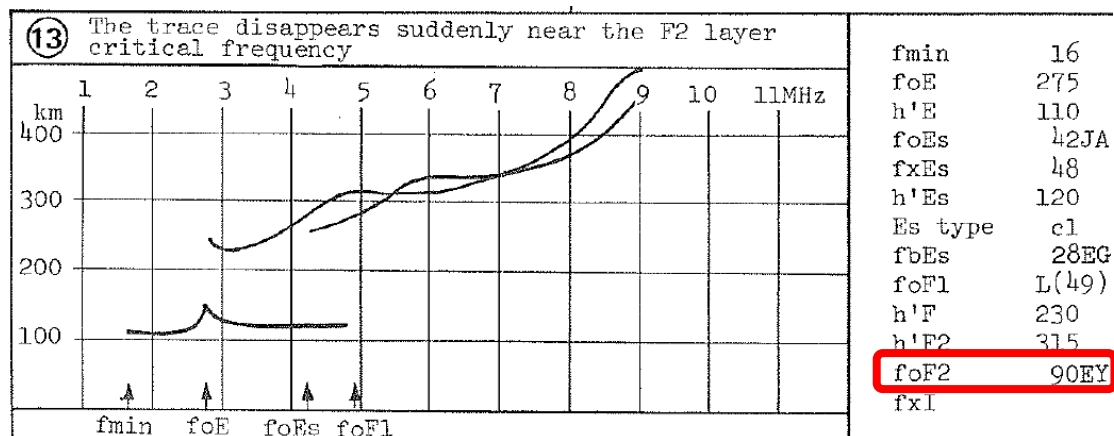


图. F2 层描述在某一频率附近突然消失情形下标定 foF2

F2 层描述在 foF2 附近异常，非常波和寻常波描述在某一频率附近突然消失。同时，F1 层描述也不正常。此情形下，标定 foF2 带 EY 符号说明。Y 说明 F 层有严重倾斜。

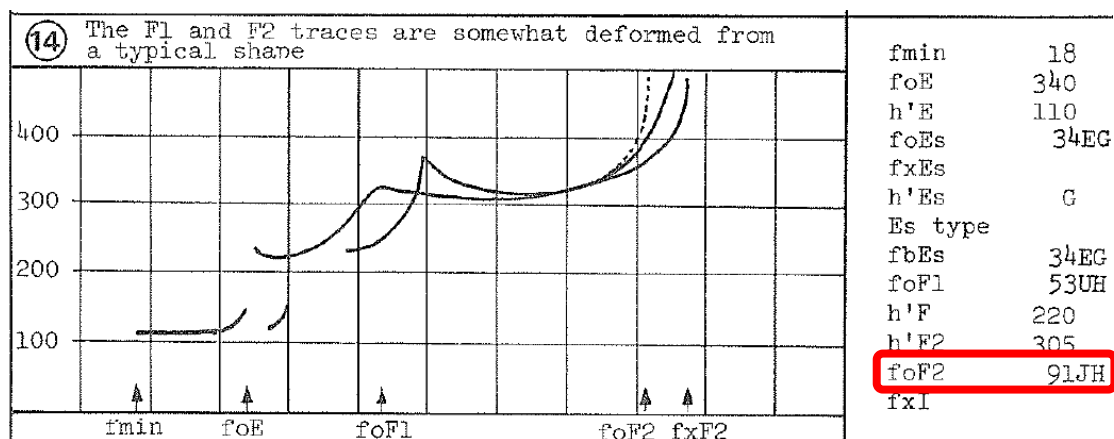


图. F1 和 F2 层描述偏离通常形状情形下标定 foF2

F1 和 F2 层描述和通常的描述形状不同，其中寻常波和非常波描述中一个变形，可由电离层在南北方向倾斜引起。如果非常波描述正常，在确定 fxF2 后，根据 $fxF2 = foF2 + fb/2$ ，估计出 foF2。此情形下，标定 foF2 带 JH 符号说明。

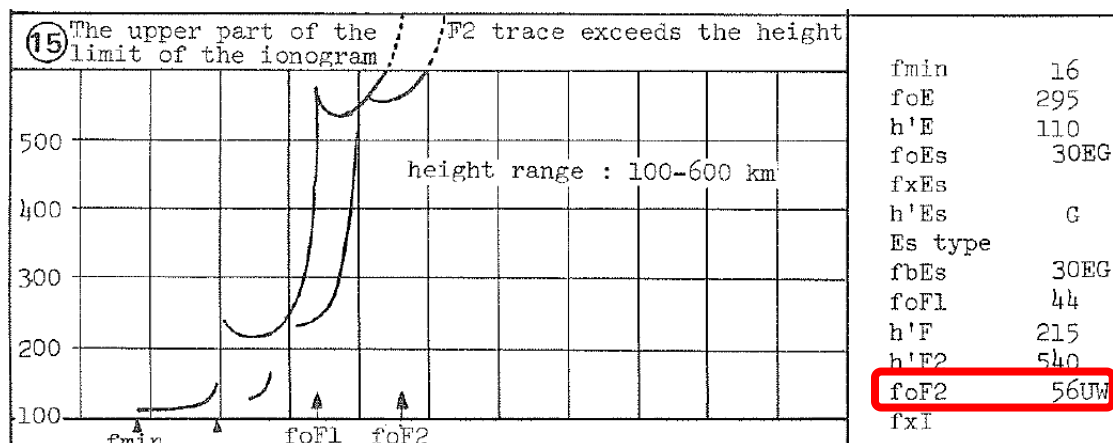


图. F2 层高端描述迹超过测高仪高度上限情形下标定 foF2

F2 层高端描述迹超过测高仪高度上限。此情形下，标定 foF2 带 W 符号说明，如果 foF2 值是有怀疑的，加限定符号 U。

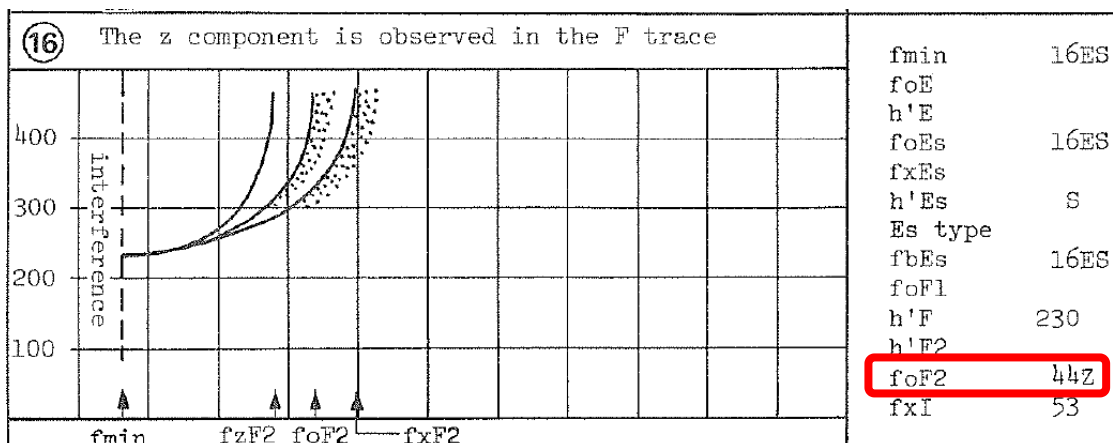


图. F 层描述观测到 Z 分量情形下标定 foF2

F 层描述观测到 Z 分量。此情形下，标定 foF2 带 Z 符号说明。

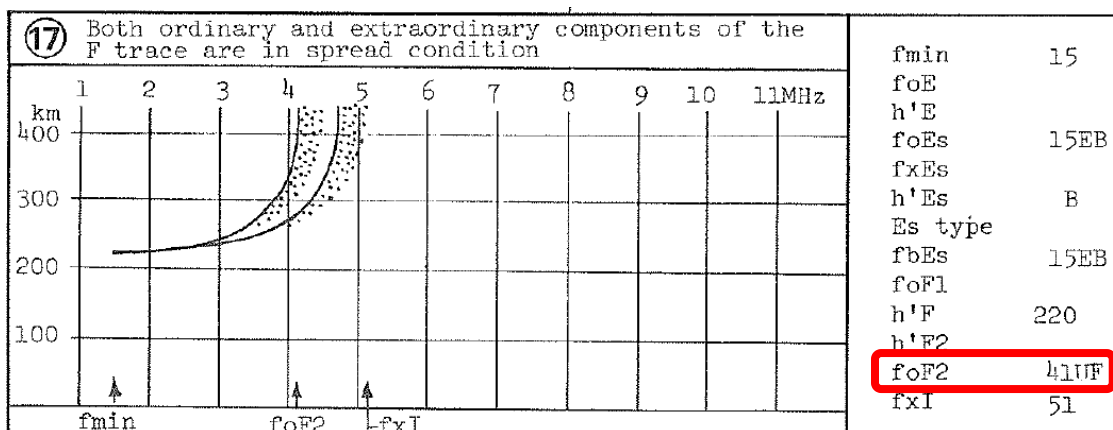


图. F 层描述扩展情形下标定 foF2

F 层描述有扩展。此情形下，标定 foF2 带 F 符号说明，如果标定精度不可靠，

加限量符号 U。

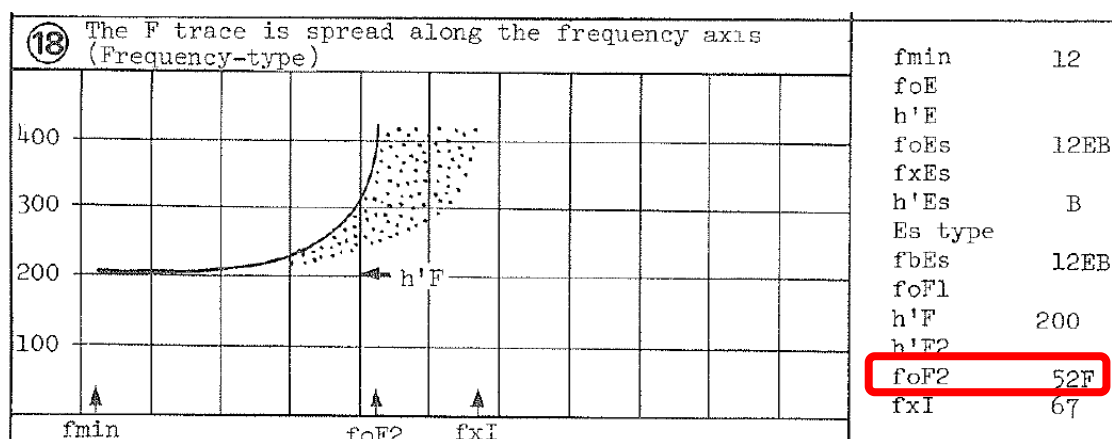


图. F 层描述在频率轴方向扩展情形下标定 foF2

F 层描述在频率轴方向有扩展。此情形下，标定 foF2 带 F 符号说明。

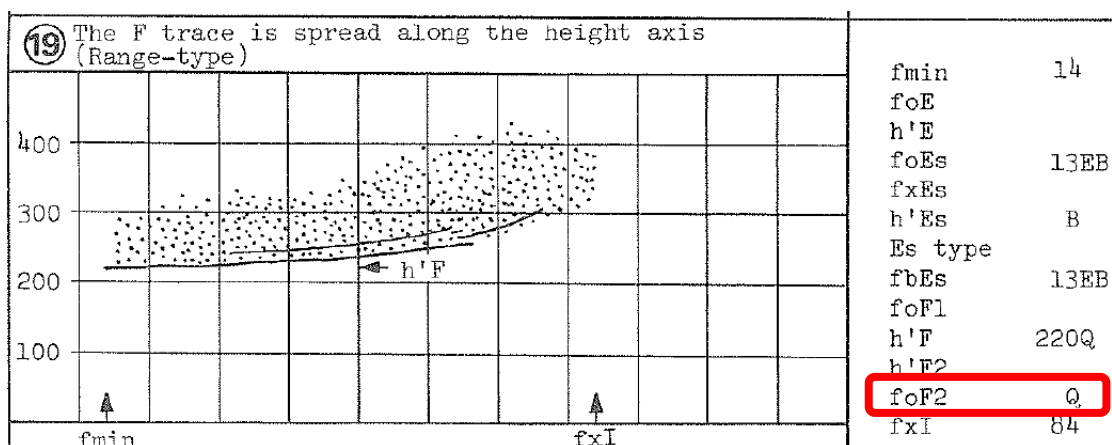


图. F 层描述在高度轴方向扩展情形下标定 foF2

F 层描述在高度轴方向有扩展。此情形下，标定 foF2 用 Q 符号说明。

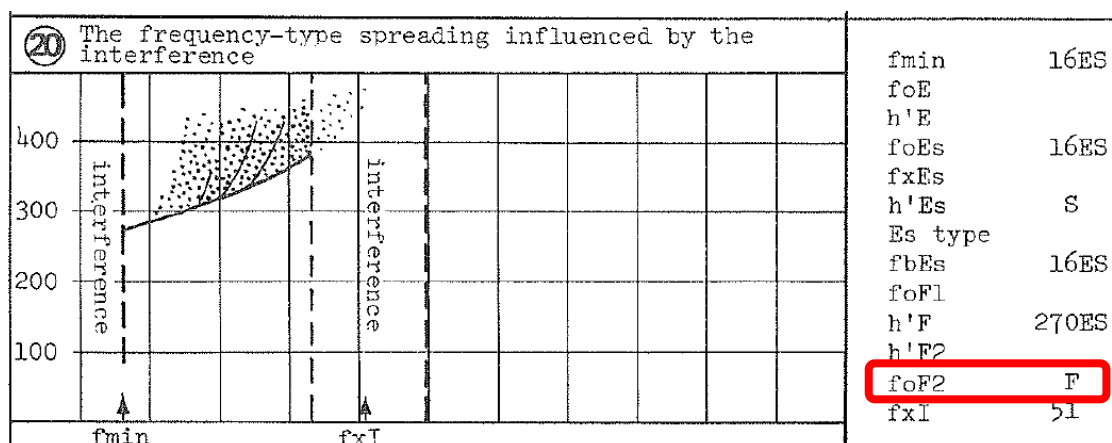


图. F 层描述在频率轴方向扩展，但受到干扰情形下标定 foF2

F 层描述在频率轴方向有扩展，但受到干扰。此情形下，标定 foF2 用 F 符号

说明。

2.2.11 参数 12: f_xI

f_xI 是频高图记录到能被 F 层反射的最高频率，不管是斜反射还是垂直反射。

标定精度： f_xI 的标定精度为 0.1MHz。

具体图例：

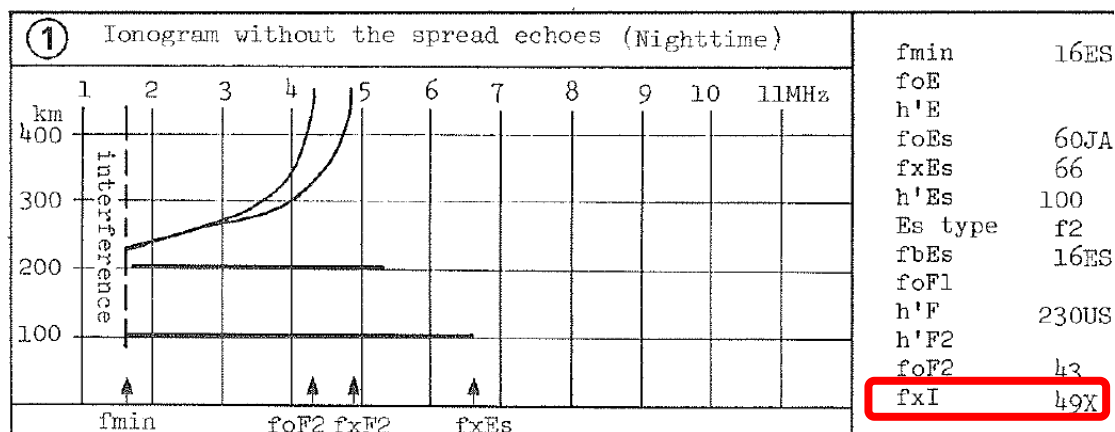


图. F 层描述没有扩展情形下标定 f_xI

F 层寻常和非常波描述完整清晰，没有扩展。此情形下，用 f_xF2 标定 f_xI ，带 X 符号说明。

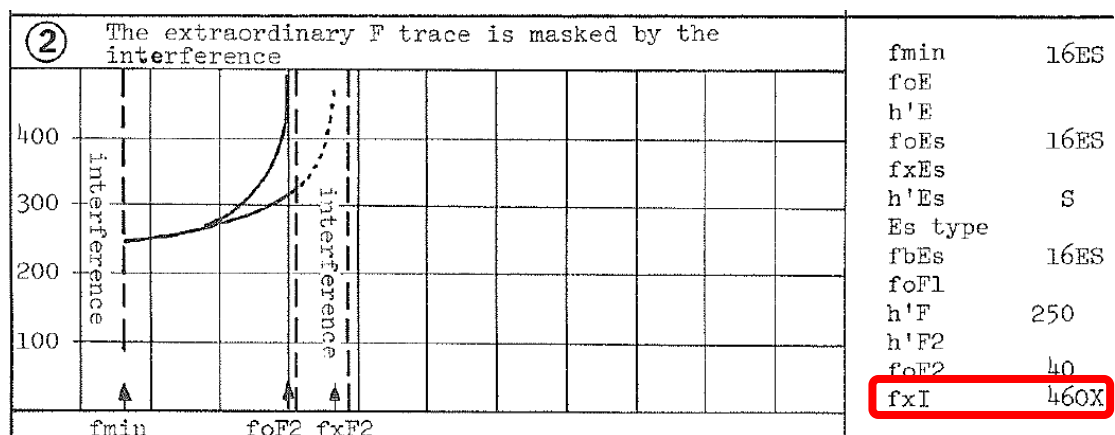


图. F 层描述受到干扰情形下标定 f_xI

F 层寻常波描述完整清晰，但非常波描述因干扰受到影响。此情形下，用从 f_oF2 和磁回旋频率估计的 f_xF2 标定 f_xI ，带 OX 符号说明。

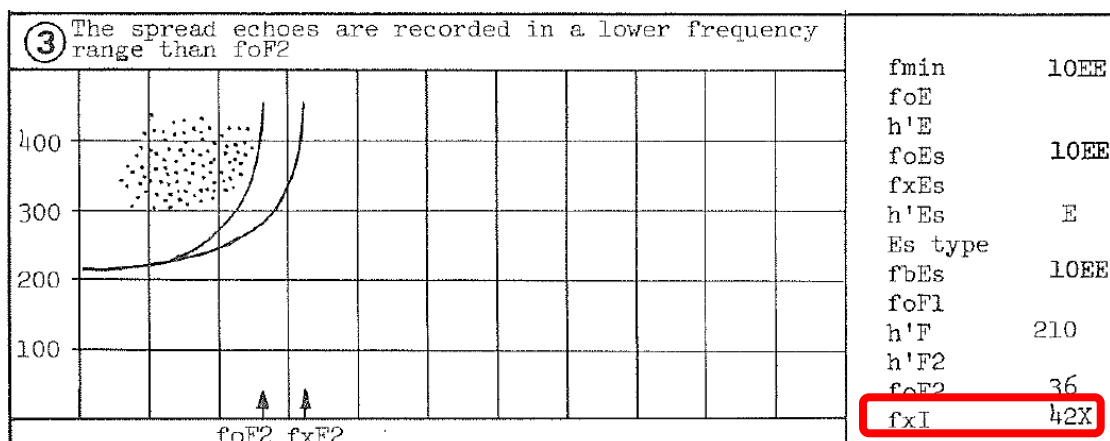


图. foF2 频率以下记录到扩展情形下标定 fxI

F 层寻常波非常波描述完整清晰， foF2 频率以下记录到扩展。此情形下，用 fxF2 标定 fxI，带 X 符号说明。

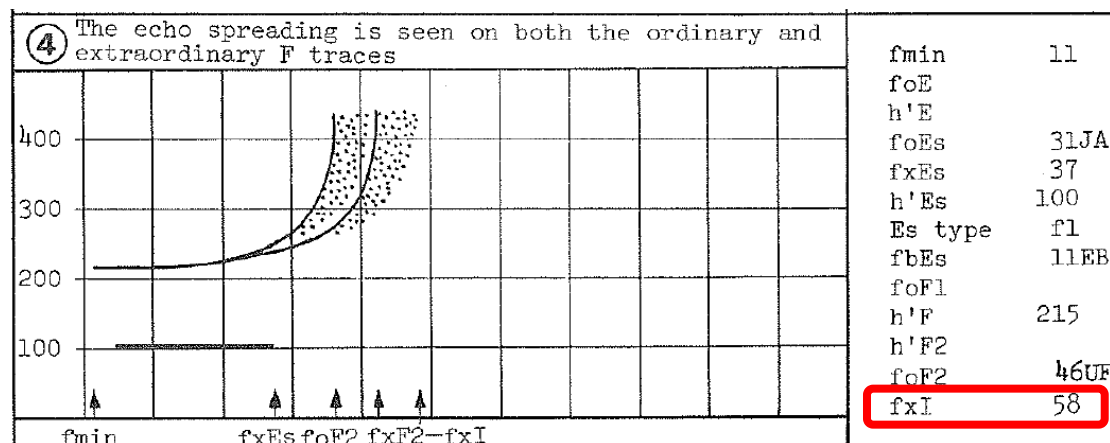


图. F 描述记录到扩展情形下标定 fxI

F 层寻常波非常波描述记录到扩展。此情形下，用非常波描述最高频率标定 fxI。

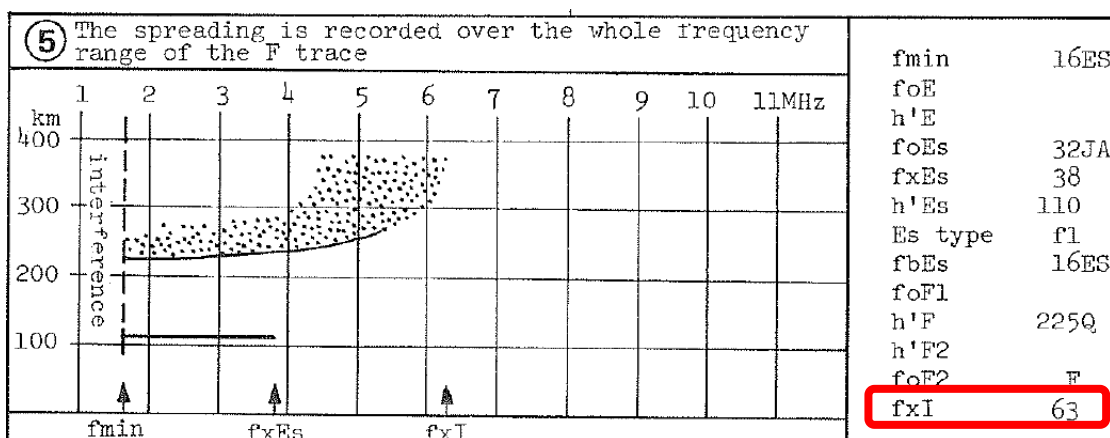


图. F 层描述的整个频率范围均记录到扩展情形下标定 fxI

F 层描述的整个频率范围均记录到扩展。此情形下，用描述最高频率标定 fxI 。

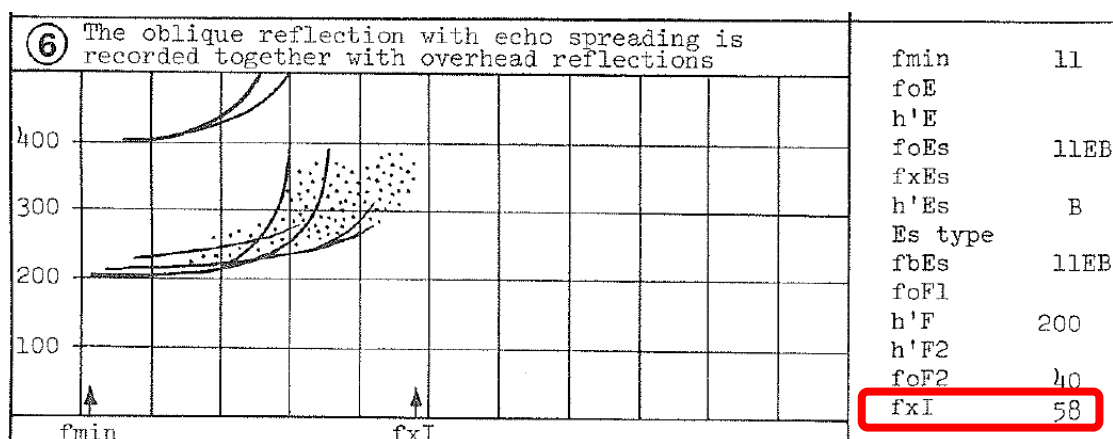


图. F 层垂直和斜反射描述均记录到扩展情形下标定 fxI

F 层垂直和斜反射描述均记录到扩展。此情形下，用描述最高频率标定 fxI 。

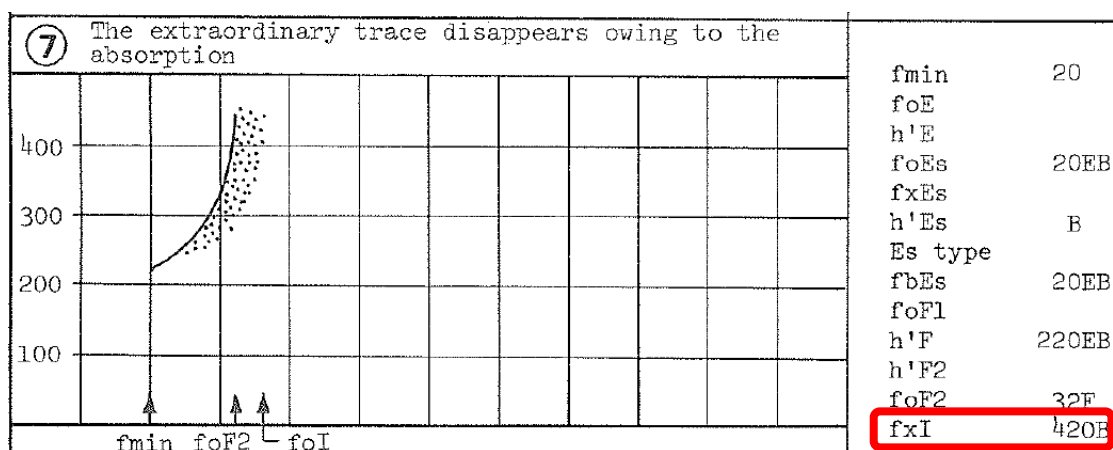


图. F 层非常波描述被吸收情形下标定 fxI

F 层非常波描述被吸收（如果没有 F 层扩展，同情形 2）。此情形下，用寻常波描述最高频率和磁回旋频率估计标定 fxI ，带 B 符号说明。

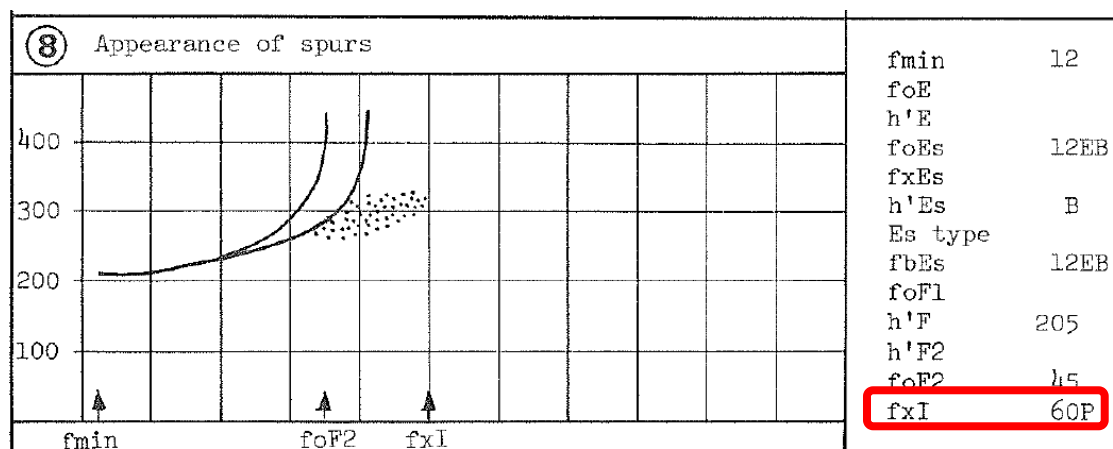


图. F 层有马刺形描述情形下标定 fxI

F 层有马刺形描述，表明电离层倾斜严重或有不规则体存在。此情形下，用描述最高频率标定 f_{xI} ，带 P 符号说明。

2.2.12 参数 13: M 因子

M(3000)F2 和 M(3000)F1 是最高可用频率因子。

标定精度: f_{xI} 的标定精度为 0.05。

具体图例:

略。

2.3 参数限量符号与说明符号

在频高图上，参数标定时可能用到限量符号与说明符号。参数标定时用到的限量符号与说明符号如下。

- A 限量符号: 小于, 用于 fbEs;
说明符号: 由于较低薄层 (如 Es) 存在, 度量受到影响或不可能。
- B 在 f_{min} 附近的吸收, 度量受到影响或不可能。
- C 非电离层的原因, 度量受到影响或不可能。
- D 限量符号: 大于;
说明符号: 由于所用频率上限的限制, 度量受到影响或不可能。
- E 限量符号: 小于;
说明符号: 由于所用频率下限的限制, 度量受到影响或不可能。
- F 描述出现扩展, 度量受到影响或不可能。只用于 foF2 和 f_{xI} 。
- G 由于该层密度太低, 度量受到影响或不可能准确度量。
- H 由于存在分层, 度量受到影响或不可能。
- I 限量符号: 缺值由内插得到。
- J 限量符号: 寻常波特性由非常波特性推算得到。
- K 出现微粒 Es。
- L 出现混合扩展 F。只用于 foF2 和 f_{xI} 。

- M 由于寻常波描述和非常波描述混叠，度量的解释有影响。
- N 测量不能解释的情况。
- O 限量符号：非常波特性由寻常波特性推算得到，用于非常波分量特性；
说明符号：度量是对寻常波分量进行的。
- P 待测参数的人为干扰；或者出现歧迹型扩展 F，只用于 f_{xl}。
- Q 高度扩展 F。用于 h'F 和 h'F₂，很少用于 foF₂ 和 f_{xl}。
- R 由于临界频率附近的衰减，度量受到影响或不可能。
- S 由于存在干扰或大气噪声，度量受到影响或不可能。
- T 限量符号与说明符号：观测可疑，由观测序列确定的度量。
- U 限量符号：度量不确定或可疑的数值。
- V 可能影响度量的分叉描述。
- W 由于回波超过记录的高度范围，度量受到影响或不可能。
- X 度量是对非常波进行的。
- Y 空白现象，或出现严重的 F 层倾斜。
- Z 限量符号：度量是从第三磁离子分量推算出的；
说明符号：存在第三磁离子分量描述。

3. 电离层数字频高图标准文档输出（SAO） 格式

3.1 引言

Automatic scaling of ionogram data has come a long way and the quality of the autoscaled data has reached a remarkable level. Consequently the time has arrived to directly transfer ionosonde data to the World Data Centers using the Internet. We have begun to equip the Digisondes with Internet connections. The first Internet links were established between the [Okinawa Digisonde](#) (CRL, Japan) and the [WDC-C2 in Tokyo](#), the [Millstone Hill Digisonde](#) (UML, USA) and the [WDC-A in Boulder](#), Colorado, and [Chilton Digisonde](#) (RAL, GB) and the [WDC-C1 in Chilton](#). All data generated in the Digisonde are made available for electronic transfer: ionogram data, scaled data, and drift data.

Starting in 1987, the Ionospheric Informatics Working Group (IIWG) of Commission G of URSI has developed recommendations for the data formats to be used for dissemination and archiving of scaled ionogram data and for the monthly ionospheric characteristics. The IIWG abstained (wisely) from trying to develop a common data format for the system-dependent ionogram and drift data.

The attached report gives a detailed description of the Standard Archiving Output (SAO) format. Each SAO (text) file contains the scaled data for one ionogram including the echo traces $h'(f)$, echo amplitudes, frequency and range spread, etc. and the electron density profile.

The upgraded or new Digisondes produce the SAO files in real time for local recording and/or electronic transfer. The older Digisondes generate only binary files, but offline editing results are usually stored in the SAO format. Since these Digisonde ionograms SAO files are now becoming available to any user either through the WDC sites or via the web pages of the connected Digisonde stations it seems important to publish a description of the SAO format.

The SAO format was originally designed for storing Digisonde ionograms scaled by autoscaling software ARTIST and edited using ADEP utility. However, in subsequent releases a special effort was made to generalize SAO design so that it can hold scaled data produced by other sounder systems. With release of version 4.1, the degree of format universality became high enough to promote SAO as a standard format for exchange of scaled ionogram data.

3.2 SAO 格式 4.3 版本

The SAO file structure has remained the same since it was developed by the IIRG in 1989, but the content has been expanded in subsequent releases. The following is a description of the SAO format version 4.3 [*Gamache et al., 1996*].

A SAO file is an ASCII text file with a maximum line length of 120 characters. In order to concisely describe the database some definitions are necessary. The nomenclature is as follows:

<i>File</i>	a collection of many <i>Records</i>
<i>Record</i>	all data for a single observation (ionogram)
<i>Group</i>	all <i>Lines</i> of a datum type
<i>Line</i>	a sequence of <i>Elements</i> of a datum type, CR/LF terminated
<i>Element</i>	a single datum in the specified format

The *Record* structure is composed of two basic components: a **Data Index** and **Data**. The format and size of the **Data Index** is fixed. It describes the contents of the **Data** in the *Record*. The **Data** component of each *Record* contains a varying number of *Groups* as indicated by the **Data Index**. The format and length of data varies from one *Group* to the next; however, all data *Elements* within a single *Group* are of the same type and length. The number of characters in a given *Group* can easily exceed the 120 characters per line limit. In this case, the output overflows to succeeding lines, thus a data *Group* may extend over several *Lines*.

This format design allows storing variable amount of information per ionogram, depending not only on ionospheric conditions, but also on sounder system specifics. There is only a subset of *Groups* that have to be present in a *Record*. As explained below, all others may be omitted and their corresponding index in the **Data Index** section set to zero. Data systems engineers have to decide which *Groups* to use to report data available from their sounders, if different from Digisonde. There are three situations, described in detail below, where system-specific data can be readily ingested using existing SAO-4 format:

- System Description line (using *tokens* of an arbitrary format)
- Operator's Message (using any text format)
- Sounder Settings (by requesting a version indicator and submitting format specification to their local WDC)

Groups 63 to 79 are currently vacant for specification formats of other data items currently missing from SAO-4. Each addition of a *Group* has to be accompanied with a new release of SAO 4 format (versions 4.2, 4.3,...) which contains format specification for the new *Group*. If necessary, the number of vacant *Groups* may be

expanded by addition of new line(s) in the **Data Index**.

3.3 数据索引 Data Index

The Data Index contains 80 three digit integers. The position in the list corresponds to the data for the data *Group* number. These are shown in Table 1. The first integer is the **number of Elements** in the data *Group* 1, Geophysical Constants, in the current *Record*. The second integer represents the **number of Elements** in the second data *Group*, System Description, etc. A value of zero indicates that there is no data for the *Group* in the *Record*. Position 80 of the Data Index array is not used to specify the format of the data to follow. It is reserved for the SAO version indicator:

- 0 SAO-3
- 1 SAO-3.1
- 2 SAO-4.0
- 3 SAO-4.1
- 4 SAO-4.2
- 5 SAO-4.3

If the demand for vacant *Groups* grows beyond the existing limit, the Data Index will have to expand and include more lines. The 80th element of the Data Index will still be used as the Version Indicator so that the reading logic will be aware of extra index lines.

Column **Req.** of Table 1 indicates which Groups are required to specify in a minimum content SAO-4 file. Red "x" marks indicate mandatory groups. If trace points are available for output in the file, each trace has to be specified with at least two groups (virtual heights and frequencies) as indicated by a "xx" cyan marks.

Group	Req.	FORTRAN Format	Description	Reference
	x	2(40I3)	DATA FILE INDEX	
1	x	16F7.3	GEOPHYSICAL CONSTANTS	Table 2
2		A120	SYSTEM DESCRIPTION AND OPERATOR'S MESSAGE	
3	x	120A1	TIME STAMP AND SOUNDER SETTINGS	Table 3,4,5
4	x	15F8.3	SCALED IONOSPHERIC	Table 6,7

			CHARACTERISTICS	
5		60I2	ANALYSIS FLAGS	Table 8
6		16F7.3	DOPPLER TRANSLATION TABLE	
			<i>O-TRACE POINTS - F2 LAYER</i>	
7	xx	15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
8		15F8.3	TRUE HEIGHTS	
9		40I3	AMPLITUDES	
10		120I1	DOPPLER NUMBERS	
11	xx	15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>O-TRACE POINTS - F1 LAYER</i>	
12	xx	15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
13		15F8.3	TRUE HEIGHTS	
14		40I3	AMPLITUDES	
15		120I1	DOPPLER NUMBERS	
16	xx	15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>O-TRACE POINTS - E LAYER</i>	
17	xx	15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
18		15F8.3	TRUE HEIGHTS	
19		40I3	AMPLITUDES	
20		120I1	DOPPLER NUMBERS	
21	xx	15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>X-TRACE POINTS - F2 LAYER</i>	
22		15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
23		40I3	AMPLITUDES	
24		120I1	DOPPLER NUMBERS	
25		15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>X-TRACE POINTS - F1 LAYER</i>	
26		15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
27		40I3	AMPLITUDES	
28		120I1	DOPPLER NUMBERS	
29		15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>X-TRACE POINTS - E LAYER</i>	
30		15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	

31		40I3	AMPLITUDES	
32		120I1	DOPPLER NUMBERS	
33		15F8.3	FREQUENCIES	
34		40I3	MEDIAN AMPLITUDES OF F ECHOES	
35		40I3	MEDIAN AMPLITUDES OF E ECHOES	
36		40I3	MEDIAN AMPLITUDES OF ES ECHOES	
37		10E11.6E1	TRUE HEIGHTS COEFFICIENTS F2 LAYER UMLCAR METHOD	Table 9
38		10E11.6E1	TRUE HEIGHTS COEFFICIENTS F1 LAYER UMLCAR METHOD	Table 9
39		10E11.6E1	TRUE HEIGHTS COEFFICIENTS E LAYER UMLCAR METHOD	Table 9
40		6E20.12E2	QUAZI-PARABOLIC SEGMENTS FITTED TO THE PROFILE	Table 10
41		120I1	EDIT FLAGS - CHARACTERISTICS	Table 12
42		10E11.6E1	VALLEY DESCRIPTION - W,D UMLCAR MODEL	
			<i>O-TRACE POINTS - Es LAYER</i>	
43		15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
44		40I3	AMPLITUDES	
45		120I1	DOPPLER NUMBERS	
46		15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>O-TRACE POINTS - E AURORAL LAYER</i>	
47		15F8.3	VIRTUAL HEIGHTS	
48		40I3	AMPLITUDES	
49		120I1	DOPPLER NUMBERS	
50		15F8.3	FREQUENCIES	
			<i>TRUE HEIGHT PROFILE</i>	
51		15F8.3	TRUE HEIGHTS	
52		15F8.3	PLASMA FREQUENCIES	
53		15E8.3E1	ELECTRON DENSITIES [e/cm ³]	
			<i>URSI QUALIFYING AND DESCRIPTIVE LETTERS</i>	
54		120A1	QUALIFYING LETTERS	

55		120A1	DESCRIPTIVE LETTERS	
56		120I1	EDIT FLAGS - TRACES AND PROFILE	Table 13
			<i>AURORAL E_LAYER PROFILE DATA</i>	
57		10E11.6E1	TRUE HEIGHTS COEFFICIENTS Ea LAYER UMLCAR METHOD	Table 9
58		15F8.3	TRUE HEIGHTS	
59		15F8.3	PLASMA FREQUENCIES	
60		15E8.3E1	ELECTRON DENSITIES [e/cm ³]	
80		--	(Reserved)	

第1组: Geophysical Constants

The values of the Geophysical Constants shown in Table 2 are specified for the station producing the data in the file. Frequencies are in MHz, angles are in degrees.

Position	Req	Description
1	x	Gyrofrequency (MHz)
2	x	Dip angle (-90.0 to 90.0 degrees)
3	x	Geographic Latitude (-90.0 to +90.0 degrees)
4	x	Geographic Longitude East(0.0 to 359.9 degrees)
5		Sunspot Number for the current year

第2组: System Description and Operator's Message

This Group allows the user to give a description of the system which recorded the data and to store a free format text message. The Group 2 is given in A120 format, so the Data Index entry for the Group 2 counts total number of 120-character *Lines* of text. One text line is used to store system description; if an operator's message is given, it takes another text line. Thus, the Data Index can be 0 (no information), 1 (system description) or 2 (system description and operator's message).

The minimum contents of the System Description line should include sounder model and station IDs. To accommodate all possible station-specific information in an organized and flexible fashion, the concept of a *token* is introduced. System Description line is arranged in comma-separated tokens, where each token consists of a registered keyword and a data field. The first token is always the sounder model, local station ID and URSI station code number. One space character separates

sounder model and IDs. Station IDs are separated by a forward slash. Local station ID is determined by host institution or sounder manufacturer. URSI station code number is assigned through [World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics](#), contact person [Raymond O. Conkright](#).

For example, the System Description Line for a UMLCAR Digisonde Portable Sounder may look like this:

DPS-4 042/MHJ45, ARTIST 1297, NH 1.3, ADEP 2.19

It contains four tokens:

- **DPS-4 042/MHJ45** -- keyword **DPS-4** indicates the Digisonde model "DPS-4", and data filed **042/MHJ45** contains UMASS Lowell Station ID (*042*) and URSI station code number (*MHJ45*)
- **ARTIST 1297** -- keyword **ARTIST** indicates ARTIST software, and **1297** is the ARTIST version number,
- **NH 1.3** -- keyword **NH** indicates true height profile inversion algorithm, and **1.3** is the algorithm version number,
- **ADEP 2.19** -- keyword **ADEP** indicates ADEP software, and **2.19** is the ADEP version number.

Thus, each item that the data support engineer needs in include into the SAO-4 System Description line has to form a token where the item is preceeded by a keyword. Another example can be given for a DISS sounder:

DISS 038/, NAME Wallops Island, WMOID HIGL BTGS 04231, ARTIST 0790, NH 1.3, ADEP 2.19

The SAO reading routine works as a simple string parser. It has to get the first word in the System Description line to identify the sounder system. Then, depending on the sounder model, it can scan the rest of the line for keywords and fill appropriate structures with corresponding data field contents. If the sounder model could not be identified, then the system Description line is used only as single text line, without analysis of individual tokens.

第3组: Timestamp and Sounder Settings

Group 3 contains three fields: **Version Indicator**, **Timestamp** of the measurement and a **Sounder Settings**. Only the first two fields are required in the minimum contents of the Group. In the minimum case, the Version Indicator should be set to AA as shown in the Table 3.

Table 3. Minimum Contents of Group 3

Number	Req.	Description	Possible Values
1-2.	x	Version Indicator	AA
3-6.	x	4 digit Year.	(1976-...)
7-9.	x	Day of Year	(1-366)
10-11.	x	Month	(1-12)
12-13.	x	Day of Month	(1-31)
14-15.	x	Hour [All times and dates correspond to UT.]	(0-23)
16-17.	x	Minutes	(0-59)
18-19.	x	Seconds	(0-59)

The Sounder Settings field is intended to allow users to assign codes that identify how the measurement is made with reference to particular sounders. For each particular sounder system, the format of System Preface Parameters Group must be personalized and a unique two-letter Version Indicator should be chosen to distinguish it from other sounder systems. The Version Indicator is then stored in the first two positions of the Group 3.

DPS data is represented by "FF" Version Indicator, and "FE" is allocated for Digisonde 256 data. Example formats of this Group for Digisonde Portable Sounder (DPS) and Digisonde 256 are shown in Table 4 and Table 5, respectively.

Table 4. DPS System Preface Parameters

Number	Description	Possible Values
1-2.	Version Indicator	FF
3-6.	4 digit Year.	(1976-...)
7-9.	Day of Year	(1-366)
10-11.	Month	(1-12)
12-13.	Day of Month	(1-31)
14-15.	Hour [All times and dates correspond to UT.]	(0-23)
16-17.	Minutes	(0-59)
18-19.	Seconds	(0-59)
20-22.	Receiver Station ID (three digits)	(000-999)
23-25.	Transmitter Station ID.	(000-999)
26.	DPS Schedule	(1-6)

27.	DPS Program	(1-7)
28-32.	Start Frequency, 1 kHz resolution	(01000 - 45000)
33-36.	Coarse Frequency Step, 1 kHz resolution	(1-2000)
37-41.	Stop Frequency, 1 kHz resolution	(01000 - 45000)
42-45.	DPS Fine Frequency Step, 1 kHz resolution	(0000 - 9999)
46.	Multiplexing disabled [0 - multiplexing enabled, 1 - disabled].	(0,1)
47.	Number of DPS Small Steps in a scan	(1 to F)
48.	DPS Phase Code	(1-4, 9-C)
49.	Alternative antenna setup [0 - standard, 1 - alternative].	(0,1)
50.	DPS Antenna Options	(0 to F)
51.	Total FFT samples [power of 2]	(3-7)
52.	DPS Radio Silent Mode [1 - no transmission]	(0,1)
53-55.	Pulse Repetition Rate (pps)	(0-999)
56-59.	Range Start, 1 km resolution	(0-9999)
60.	DPS Range Increment [2 - 2.5 km, 5 - 5 km, A - 10 km]	(2,5,A)
61-64.	Number of ranges	(1-9999)
65-68.	Scan Delay, 15 km units	(0-1500)
69.	DPS Base Gain	(0-F, encoded)
70.	DPS Frequency Search Enabled	(0,1)
71.	DPS Operating Mode [0 - Vertical beam, 5 - multi-beam ionogram]	(0-7)
72.	ARTIST Enabled	(0,1)
73.	DPS Data Format [1 - MMM, 4 - RSF, 5 - SBF]	(0-6)
74.	On-line printer selection [0 - no printer, 1 - b/w, 2 - color]	(0,1,2)
75-76.	Ionogram thresholded for FTP transfer [0-no thresholding]	(0-20, encoded)
77.	High interference condition [1 - extra 12 dB attenuation]	(0,1)

Table 5. Digisonde 256 System Preface Parameters

Number	Code	Description	Possible Values
1-2.	-	Version Indicator	FE
3-6.	-	4 digit Year.	(1976-...)
7-9.	-	Day of Year	(1-366)
10-11.	-	Month	(1-12)
12-13.	-	Day of Month	(1-31)
14-15.	-	Hour [All times and dates correspond to UT.]	(0-23)
16-17.	-	Minutes	(0-59)
18-19.	-	Seconds	(0-59)
20-30.	-	Digisonde Preface Timestamp	YYDDDHMMSS
31.	S	Program Set	(1-3)
32.	P	Program Type	(A,B,C,F,G)
33-38.	J	Journal	encoded
39-44.	F	Nominal Frequency, 100 Hz resolution	(001000 - 045000)
45-51.	P#	Output Controls	encoded
52-53.	SS	Start Frequency, 1 MHz resolution	(00-10)
54.	Q	Frequency Increment	(0-9,A-C,encoded)
55-56.	UU	Stop frequency, 1 MHz resolution	(01-30)
57-59.	CAB	Test Output	encoded
60-62.	V	Station ID	(000-999)
63.	X	Phase Code	(0-F, encoded)
64.	L	Antenna Azimuth	(0-F, encoded)
65.	Z	Antenna Scan	(0-7, encoded)
66.	T	Antenna Option and Doppler Spacing	(0-F, encoded)
67.	N	Number of Samples	(1-8)
68.	R	Repetition Rate	(0,2-8,A,B, encoded)
69.	W	Pulse width and code	(0-7, encoded)
70.	K	Time control	encoded
71.	I*	Frequency correction	(0-4, encoded)
72.	G*	Gain correction	(0-7, encoded)
73.	H	Range increment	(0-3,8-C, encoded)
74.	E	Range start	(0-7, encoded)
75.	I	Frequency Search	(0-7, encoded)

76.	G	Nominal Gain	(0-F, encoded)
77.	-	Spare	0

第4组: Scaled Ionospheric Characteristics

The Scaled Ionospheric Characteristics may be obtained by ARTIST, ADEP, some other autoscaling or editing/validating software, or typed in manually. All numbers represent either frequency in Megahertz or altitude in kilometers except as indicated in Table 6. The format *F8.3* (DDDD.DDD) is used to report the characteristics which is equivalent to 1 kHz precision in frequencies and 1 m precision in heights. The accuracy of the stored values is usually 1 ionogram pixel (frequency step or height increment) except as indicated in Table 6.

There are currently 49 Scaled Ionospheric Characteristics defined. It is possible to report less than 48 characteristics and indicate that in the Data Index section of the record. Otherwise, all characteristics which are not scaled for a particular ionogram must be set to a default "No reading" value. which is 999.900 MHz for frequencies and 9999.000 km for heights.

#	Description	Units	Accuracy	No reading
1	foF2 : F2 layer critical frequency, including the adjustment by the true height profile algorithm	MHz	at least quarter of frequency increment	9999.000
2	foF1 : F1 layer critical frequency	MHz	1 frequency increment	9999.000
3	$M(D) = MUF(D)/foF2$	-	-	9999.000
4	MUF(D) : Maximum usable frequency for ground distance D	MHz	1 frequency increment	9999.000
5	fmin: minimum frequency of ionogram echoes	MHz	1 frequency increment	9999.000
6	foEs : Es layer critical frequency	MHz	1 frequency increment	9999.000
7	fminF : Minimum frequency of F-layer echoes	MHz	1 frequency increment	9999.000
8	fminE : Minimum frequency of E-layer echoes	MHz	1 frequency increment	9999.000
9	foE : E layer critical frequency	MHz	1 frequency increment	9999.000

			increment	
10	fxI : Maximum frequency of F-trace	MHz	1 frequency increment	9999.000
11	h'F : Minimum virtual height of F trace	km	1 height increment	9999.000
12	h'F2 : Minimum virtual height of F2 trace	km	1 height increment	9999.000
13	h'E : Minimum virtual height of E trace	km	1 height increment	9999.000
14	h'Es : Minimum virtual height of Es trace	km	1 height increment	9999.000
15	zmE : Peak height of E-layer	km	1 height increment	9999.000
16	yE : Half thickness of E layer	km	1 height increment	9999.000
17	QF : Average range spread of F layer	km	1 height increment	9999.000
18	QE : Average range spread of E layer	km	1 height increment	9999.000
19	DownF : Lowering of F trace to the leading edge	km	1 height increment	9999.000
20	DownE : Lowering of E trace to the leading edge	km	1 height increment	9999.000
21	DownEs : Lowering of Es trace to the leading edge	km	1 height increment	9999.000
22	FF : Frequency spread between fxF2 and fxI	MHz	1 frequency increment	9999.000
23	FE : Frequency spread beyond foE	MHz	1 frequency increment	9999.000
24	D : Distance for MUF calculation	km	1 km	9999.000
25	fMUF : MUF/ObIFactor	MHz	1 frequency increment	9999.000
26	h'(fMUF) : Virtual height at MUF/ObIFactor frequency	MHz	1 height increment	9999.000
27	delta_foF2 : Adjustment to the scaled foF2 during profile inversion	MHz	1 kHz	9999.000
28	foEp : predicted value of foE	MHz	±0.3 MHz	9999.000
29	f(h'F) : frequency at which h'F occurs	MHz	1 frequency increment	9999.000
30	f(h'F2) : frequency at which h'F2 occurs	MHz	1 frequency increment	9999.000
31	foF1p : predicted value of foF1	MHz	± 0.5 MHz	9999.000
32	peak height of F2 layer	km		9999.000

33	peak height of F1 layer	km		9999.000
34	zhalfNm : the true height at half the maximum density in the F2 layer	km	1 km	9999.000
35	foF2p : predicted value of foF2	MHz	± 2.0 MHz	9999.000
36	fminEs : minimum frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment	9999.000
37	yF2 : half thickness of the F2 layer, parabolic model	km	100 m	9999.000
38	yF1 : half thickness of the F1 layer, parabolic model	km	100 m	9999.000
39	TEC : total electron content	10 ¹⁶ m ⁻²	-	9999.000
40	Scale height at the F2 peak	km	1km	9999.000
41	B0, IRI thickness parameter	km	-	9999.000
42	B1, IRI profile shape parameter	-	-	9999.000
43	D1, IRI profile shape parameter, F1 layer	-	-	9999.000
44	foEa, critical frequency of auroral E layer	MHz	1 frequency increment	9999.000
45	h'Ea, minimum virtual height of auroral E layer trace	km	1 height increment	9999.000
46	foP, highest ordinary wave critical frequency of F region patch trace	MHz	1 frequency increment	9999.000
47	h'P, minimum virtual height of the trace used to determine foP	km	1 height increment	9999.000
48	fbEs, blanketing frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment	9999.000
49	Type Es	-	See Table 7	9999.000

Type Es is a letter characteristic which has to be reported in the Table 6 as a number using Lookup Table 7.

Type Es	Value reported in Group 4	Description
A	1.0	Auroral
C	2.0	Cusp
D	3.0	below 95 km

F	4.0	Flat
H	5.0	Height discontinuity with normal E
K	6.0	in the presence of night E
L	7.0	Flat Es below E
N	8.0	Non-standard
Q	9.0	Diffuse and non-blanketing
R	10.0	Retardation

第5组: ARTIST Analysis Flags

The ARTIST Analysis Flags are a sequence of two digit integers (6012 format) which indicate and qualify some of the ARTIST scaled results. Table 8 is a description of the flags and the meaning of their possible values.

Position	Content	Description
1	1	foE scaled using E-region trace data
	2	No E-region trace obtained, only predicted foE available
	3	No E-region trace obtained, but foE scaled using F trace
2	0	No F trace scaled
	1	E layer profile only
	2	Separate solutions for E and F layers
	4	Frequency range error in E trace
	5	Frequency range error in F2 trace
	6	Frequency range error in F1 trace
	7	Physically unreasonable E trace
	8	Physically unreasonable F2 trace
	9	Physically unreasonable F1 trace
	10	F1 layer solution too thick
	11	Oscillating solution in F1 layer
	12	F2 trace too short
	13	F1 trace too short
	18	Oscillating solution in F1 layer

	25	Root in F1 layer too severe to correct
	26	Root in F2 layer too severe to correct
3	N	Number of roots in F2 layer profile solution
4	0	foF1 not scaled
	1	foF1 scaled
5	0	No AWS Qualifier applies
	1	Blanketing Sporadic E
	2	Non-Deviative Absorption
	3	Equipment Outage
	4	foF2 greater than equipment limits
	5	fmin lower than equipment limits
	6	Spread F
	7	foF2 less than foF1
	8	Interference
	9	Deviative absorption
6		Not used
7	N	Number of roots in E layer profile solution
8	N	Number of roots in F1 layer profile solution
9		Internal use in profile inversion
10	11-55	Confidence level: two digits, each ranging from 1 (highest confidence) to 5 (lowest confidence)
11	0	Spread F conditions unknown
	0	No spread F (quiet ionosphere)
	1	Moderate spread F conditions
	2	Severe spread F conditions
	3	Spread F too severe for autoscaling
	9	Unknown (prior to ARTIST-5.0.2)
12-14		Not used
15	N	Number of strong pulses in the F center window
16		Not used
17	0	Smoothing applied to the baseline

18		Not used
19	1	Second hop F trace found
20	1-3	Internal NHPC use, E layer analysis status

第6组: Doppler Translation Table

The Doppler Translation Table is a sequence of floating point numbers in the 16F7.3 format which convert the trace Doppler Number into a Doppler frequency in Hertz. These numbers should be read into a floating point array. Using the Doppler Number as an index to that array will result in the Doppler shift for the scaled trace point in question. The first element of the Doppler translation table corresponds to the Doppler number 0.

Trace Points

The following Groups include ionogram trace information obtained in some automated or interactive manner. The data format and content is identical for any of the F2, F1, E, or Es traces with either ordinary (O) or extraordinary (X) polarization although not all traces may be present in any one ionogram. For example, the ARTIST program currently does not scale the complete X-traces, however space has been provided for implementation of this feature at a later date.

The data for each trace are contained in five *Groups*. For the F2 O-trace they are in *Groups 7, 8, 9, 10, and 11*; for the F1 O-trace they are in *Groups 12, 13, 14, 15, and 16*; etc. (see Table 1). The groups for sporadic E, auroral night E layers and all extraordinary data groups do not contain the true height group. Also, Groups 51, 52, and 53 are reserved for an accurate representation of the electron density profile, including the valley. There is a one-to-one positional correspondence between *elements* in these five *Groups*, in that the first Virtual Height, True Height, Amplitude, Doppler Number and Frequency all correspond to the first Trace point on the ionogram. The same is true of the second point, and so on throughout the entire trace.

Autoscaling or editing software may interpolate or extrapolate missing trace points to maintain consistent frequency stepping within the trace or provide better accuracy of the scaled characteristics. Because of explicit specification of all trace point frequencies in the SAO format, the interpolated or extrapolated points may be omitted. However, in this case the value of true height obtained for that frequency will be missing as well. If included, the interpolated/extrapolated points shall be reported with amplitude set to 0 and Doppler number set to 9.

第7, 12, 17, 22, 26, 30, 43, 47组: Trace Virtual Heights

This *group* consists of a number of Virtual Heights in 15F8.3 format for the layer indicated. The number of these heights depends upon the length of the trace on the corresponding ionogram. Virtual Heights are reported in kilometers of altitude.

第8, 13, 18组: True Heights

This *group* consists of a number of True Heights in 15F8.3 format for the layer indicated. The number of these heights depends upon the length of the trace on the corresponding ionogram (compare to complete profiles specification in *Groups* 51-53). True Heights are reported in kilometers of altitude. Virtual heights of 0 km can be present in this group as "no-value" filler of missing trace points added to preserve continuous frequency stepping.

第9, 14, 19, 23, 27, 31, 44, 48组: Trace Amplitudes

The amplitude in dB of each trace point is recorded in 40I3 format.

第10, 15, 20, 24, 28, 32, 45, 49 组: Trace Doppler Numbers

The Doppler Number, as measured by the Digisonde, for each trace point is recorded here in 120I1 format. To convert this number to an actual Doppler shift in Hertz, use this integer as the index to the Doppler Translation Table provided in *Group* 6. Index for 8 element Doppler Translation Table runs from 0 to 7. Value 9 is reported for interpolated or extrapolated points where information about Doppler frequency shift is unavailable.

第11, 16, 21, 25, 29, 33, 46, 50组: Trace Frequencies

The frequency (in MHz) of the trace point is given in this *Group* in the 15F8.3 format. Originally, this *Group* was provided for the possibility of uneven frequency stepping and would normally be left empty for Digisonde ionograms with a constant frequency step. This is no longer acceptable. The sounder settings which are required to restore linear step frequencies can be obtained only from a valid Sounder Settings *Group* 3 and Scaled Characteristics *Group* 4 and may appear to be missing for some sounder systems.

第34组: Median Amplitude of F Echo

These values are an amplitude in dB for the F trace. It is calculated every integer MHz between f_{minF} and f_{oF2} . See Code 4 for f_{min} and f_{oF2} . The Median Amplitude is calculated by taking the median of the trace amplitudes over a 0.5 MHz in frequency by five height range rectangle and then scaling this median value to appear as if it were at 100 km altitude.

第35组: Median Amplitude of E Echo

Same as per Code 34, but for the E echo between f_{minE} and f_{oE} .

第36组: Median Amplitude of Es Echo

Same as per Code 34, but for the Es echo between f_{minE} and f_{oEs} .

第37组: True Height Coefficients for the F2 Layer

The True Height Data for F2 layer from the UMLCAR method are stored in the E11.6E1 format. There are up to 10 *elements*. The meaning of each *element* is given in Table 9.

Position	Parameter	Description
1	fstart	Start frequency (MHz) of the F2 layer
2	fend	The end frequency of the F2 layer
3	zpeak	The height of the peak of the F2 layer
4	dev	The fitting error in km/point.
5-9	A0-A4	Shifted Chebyshev polynomial coefficients
10	zhalfNm	Height at half peak electron density

第38组: True Height Coefficients for the F1 Layer

The True Height Data for the F1 layer from the UMLCAR method have the same format as those for the F2 layer (*Group 37*) above with the exception of z_{halfNm} (see Table 9).

第39组: True Height Coefficients for the E Layer

The True Height Data for the E layer from the UMLCAR method have a format very similar to that for the F2 and F1 layers (*Codes 37 and 38*) above. The difference lies in that there are only seven *elements* stored in this *Group*. The first four parameters are *fstart*, *fend*, *zpeak* and *dev* as defined for the F2 layer. There are, however, only three coefficients for the shifted Chebyshev polynomials (A0 - A2) for the E layer true height.

第40组: Quazi-Parabolic Segments Fitted to the Profile

An arbitrary number of parabolic segments may be fitted to the profile to approximate its shape. Each segment can be expressed as:

$$f_N^2 = A/R^2 + B/R + C$$

where

f_N is the plasma frequency in MHz,

A, B, and C are the parabolic coefficients

R is the distance from the center of the Earth in km, which varies from R1 to R2 for the segment.

If n segments are fitted to the profile, the Group 40 will contain $n+1$ entries. The first n entries store 6 values per segment (R1, R2, A, B, C, and fitting error E) in the E20.12E2 format, and the last lines contains the Earth radius, as is shown in Table 10.

#	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6
1	R11	R12	A1	B1	C1	E1
2	R21	R22	A2	B2	C2	E2
...						
n	$Rn1$	$Rn2$	An	Bn	Cn	En
$n+1$	R_e	-	-	-	-	-

The Earth radius, R_e , is the actual value used in the fitting process and is given in SAO file to ensure proper restoring of the profile shape.

第41组: Edit Flags: Characteristics

The edit flags are written in 12011 format and are used to indicate whether the

reported ionospheric characteristics are result of autoscaling, manual input, or long-term prediction. One edit flag is a sum of three indicators, EDITED(1), PREDICTED(2) and VALIDATED(4). Table 11 shows possible combinations of the indicators.

EDITED	PREDICTED	VALIDATED	EDIT FLAG VALUE	Description
0	0	0	$0+0+0 = 0$	autoscaled value
0	0	4	$0+0+4 = 4$	autoscaled value, validated by an operator
1	0	4	$1+0+4 = 5$	manually specified value; the autoscaled value was incorrect or unavailable
0	2	0	$0+2+0 = 2$	long-term prediction

The position in the edit flag list corresponds to the order of the characteristics listed in Table 6. A complete list is given in Table 12. The edit flags may be used to set the slash (/) indicators in the URSI-IIWG characteristics database, if the indicators are not given in the *Groups* 54-55.

#	Scaled Characteristic	Description
1	foF2	F2 layer critical frequency
2	foF1	F1 layer critical frequency
3	M(D)	M-factor, $MUF(D)/foF2$, for distance D
4	MUF(D)	Maximum usable frequency for distance D
5	fmin	Minimum frequency for E or F echoes
6	foEs	Es layer critical frequency
7	fminF	Minimum frequency of F-trace
8	fminE	Minimum frequency of E-trace
9	foE	E layer critical frequency
10	fxl	Maximum frequency of F-trace
11	h'F	Minimum virtual height of F trace
12	h'F2	Minimum virtual height of F2 trace
13	h'E	Minimum virtual height of E trace

14	h'Es	Minimum virtual height of Es layer
15	HOM	Peak of E layer using parabolic model
16	Ym	Corresponding half thickness of E layer
17	QF	Average range spread of F-trace
18	QE	Average range spread of E-trace
19	Down F2	Lowering of F-trace maximum to leading edge
20	Down E	Lowering of E-trace maximum to leading edge
21	Down Es	Lowering of Es-trace maximum to leading edge
22	FF	Frequency spread between f_xF2 and f_xI
23	FE	As FF but considered beyond f_oE
24	D	Distance used for MUF calculation
25	$fMUF(D)$	$MUF(D)/\text{obliquity factor}$
26	$h'MUF(D)$	Virtual height at $fMUF$
27	f_oF2c	correction to add to f_oF2 to get actual f_oF2
28	f_oE_p	Predicted f_oE
29	$f(h'F)$	Frequency at which h_{minF} occurs
30	$f(h'F2)$	Frequency at which h_{minF2} occurs
31	f_oF1_p	Predicted f_oF1
32	Zpeak	Peak height F2 layer
33	ZpeakF1	Peak height F2 layer
34	zhalfnm	Height at half peak electron density
35	f_oF2_p	Predicted f_oF2
36	f_{minEs}	Minimum frequency of Es layer
37	YF2	Half-thickness of F2 layer in parabolic model
38	YF1	Half-thickness of F1 layer in parabolic model
39	TEC	Total electron content
40	HscaleF2	Scale height at F2 peak
41	B0	IRI thickness parameter
42	B1	IRI profile shape parameter
43	D1	IRI F1 profile shape parameter
44	f_oEa	Critical frequency of auroral E layer
45	$h'Ea$	Minimum virtual height of auroral E layer trace
46	f_oP	Highest ordinary wave critical frequency of F region patch trace

47	h'P	Minimum virtual height of the trace used to determine foP
48	fbEs	Blanketing frequency of Es layer
49	Type Es	Type of Es layer

第42组: Valley Characteristics UMLCAR model

The current content for this Group is two parameters describing the width and depth of the valley region in the UMLCAR model.

第51-53组: Regular True Height Profile

The complete true height profile of electron density up to 1000 km is given here, including all layers and the valley. The profile is reported with the true height as the argument of the N(h) function, i.e. all heights within the valid range are scanned with a fixed increment, say, 1 km, and put in Group 51. Corresponding frequencies and electron densities are given in Group 52 and Group 53. Also, a few additional height points are reported in the groups: all peak heights of the layers and the starting height of the profile. The additional points might not be multiples of the height increment. One-to-one positional correspondence of individual elements in Groups 51-53 is preserved, so that, for example, the first element of Groups 51-53 refers to the starting height of the profile.

The height increment and coverage for the profile specification is determined by the program which created the SAO file.

第54-55组: Qualifying and Descriptive Letters

These two groups store URSI Qualifying (Group 54) and Descriptive (Group 55) letters [*URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction, 1972*] using 120A1 format. The letters are used by manual scaling operators to reflect reliability of measurement and indicate the presence of certain ionospheric phenomena. The layout of the Groups 54-55 corresponds to Table 6 (Scaled Ionospheric Characteristics). The number of items stored in the Groups 54 and 55 must be the same as in Group 6.

When no qualifying or descriptive letter is applied to a characteristic but its value has been verified or edited, the corresponding entry in the Group 54 should read "/" (forward slash) and Group 55 should read " " (space) [see IIRWG regulations, Table 3, [here](#)]. For autoscaled data, the IIRWG regulations suggest storing "/" in both

groups, but SAO-4 file created by the autoscaling software may simply omit Groups 54 and 55 and report only Group 41 (Edit Flags).

第56组: Edit Flags: Traces and Profile

The edit flags are written in 12011 format and correspond to whether ionogram traces and profile were modified as a result of manual scaling of the data. Autoscaling software must not report this group to distinguish it from the manual editing/validating. If no trace points were adjusted and profile was not recalculated in the process of manual editing/validation, the Group 56 must still be reported with all zero settings to distinguish it from autoscaled data.

#	Name	Description
1	F2 trace	F2 trace points were edited
2	F1 trace	F1 trace points were edited
3	E trace	E trace points were edited
4	z(h)	true height was recalculated with edited traces
5	Es trace	Es trace points were edited

第57组: True Height Coefficients for the Ea Layer

The True Height Data for the E auroral layer from the UMLCAR method have a format identical to Group 39 for E layer above.

第 58-60组: Auroral True Height Profile

The complete true height profile of electron density up to 1000 km is given here, including all layers and the valley. The profile is reported with the true height as the argument of the $N(h)$ function, i.e. all heights within the valid range are scanned with a fixed increment, say, 1 km, and put in Group 58. Corresponding frequencies and electron densities are given in Group 59 and Group 60. Also, a few additional height points are reported in the groups: all peak heights of the layers and the starting height of the profile. The additional points might not be multiples of the height increment. One-to-one positional correspondence of individual elements in Groups 58-60 is preserved, so that, for example, the first element of Groups 58-60 refers to the starting height of the profile.

4. 电离层数字频高图观测报表 IIWG 格式

IIWG 数据格式是为了存储任意个参数、任意时间长数据而发展的一种数据格式。其逻辑单元为台站-月。一个台站各参数一个月内的数据可以储存为一个记录，一个文件可以由一个或多个记录组成。

一个记录的格式，见下表。

Record #	Format	Description
1	A30	Station Name
1	A5	Station code
1	I4	Meridian time used by station
1	F5.1	Latitude N
1	F5.1	Longitude E
1	A10	Scaling type: Manual/Automatic
1	A10	Data editings: Edited/Non-edited/Mixed
1	A30	Ionosonde system name
2,3	30I4*	Year
		Month
		Number of days in the month, M
		Number of characteristics
		Total number of measurements
		Number of measurements for each of the M days, NM
4,i	12A10*	List of characteristics
i+1,j	12A10*	Dimensions
j+1,k	60A2*	List of corresponding URSI codes
k+1,l	20(3I2)*	The NM sample times HHMMSS for each of the M days
l+1,m	24(I3,A2)*	The N1 values of characteristic 1 for day 1
...repeated for each of the M days
m+1	24(I3,A2)	Hourly medians for characteristic 1
m+2	24(I2,I3)	The counts for the hourly medians, Range
m+3	24(I3,A2)	Upper quartile
m+4	24(I3,A2)	Lower quartile
m+5	24(I3,A2)	Upper decile
m+6	24(I3,A2)	Lower decile
m+7,n	24(I3,A2)*	The N1 values of characteristic 2 for day 1
...

... repeat for each characteristic.

5. 结束语

本指南用于对 2009 年启动的国家科技基础性工作专项重点项目“电离层历史资料整编和电子浓度剖面及区域特性图集编研”（2008FY120100）工作中，对电离层频高图度量分析和参数提取的标准和依据。本指南由刘立波和宁百齐等编写，并得到项目专家组有关专家的指导和建议。本工作参考了日本 NICT，澳大利亚 IPS 等有关资料，见附录参考文献。

6. 附录：参考文献

- Piggot W. R. and K. Rawer, URSI Handbook of ionogram interpretation and reuction, Rep UAG-23A, World Data Cent. A, Natl. Oceanic and Atmos. Admin., Boulder, Colo., 1978
- Phil Wilkinson, IPS scaling conventions, IPS Radio and Space Services, Australia, 1996
- N. Wakai, H. Ohyama and T. Koizumi, Manual of ionogram scaling, Radio Rsearch Laboratory, Ministry of Posts and Telecommunications, Japan, 1987
- Phil Wilkinson, Scaling Ionograms, Ionosonde Network Advisory Group (INAG),2007
- Huang X. Q. and B.W. Reinisch, Automatic calculation of electron density profiles from digital ionograms, 2.True height inversion of topside ionograms with the profile-fitting method, Radio Sci., 17(4), 837-844, 1982
- Titheridge J. E., Ionogram analysis with the generalized program POLAN, Rep.UAG-93, World Data Cent. A for Sol.-Terr. Phys., Washington D. C., 1985
- Gamache R. R., I.A. Galkin, and B. W. Reinisch, "A Database Record Structure for Ionogram Data", University of Lowell Center for Atmospheric Research, UMLCAR 96-01, 1996.
- Bodo W. Reinisch, Ivan A. Galkin, and Grigori Khmyrov, A new format for ionospheric characteristics: SAOXML, Center for Atmospheric Research, University of Massachusetts Lowell, USA, 2005