

铁氧体接收天线

中国科学院
电子学研究所

571

73-4571
872
12

鐵 氧 体 接 收 天 綫

苏联 B. И. 霍米契 著

舒 永 泽 译



В. И. ХОМНЧ
ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1960

内 容 提 要

本书介绍铁氧体的物理性质，铁氧体接收天线计算和设计的基本原理，它的特性和测量方法。书中讲述铁氧体的选择和应用，着重讲述超短波铁氧体天线，例如室内电视天线，测向机天线，提出了它们的改进途径。

本书可供无线电系师生，超短波接收天线设计人员以及无线电爱好者阅读。

铁 氧 体 接 收 天 线

著 者： 苏 联 В. И. 霍 米 契

译 者： 舒 水 洋

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业许可出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发 行 者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1964年5月北京第一版

印张 126/32 页数 29

1964年5月北京第一次印刷

印刷字数 41,000 字

印数 1-7,650 册

统一书号：15045·总1390—无387

定价：(科4) ~~0.20~~ 元

0.20

前 言

广泛地使用新型磁性材料是二次大战后无线电电子学发展的显著特点。这种磁性材料在无线电波段中能量损耗小、特性稳定以及另外一系列的优良性能使它很快地颇有成效地用于制造无线电设备的实践中。

磁性材料的运用导致出现新的无线电零件，用它构成的电路能改善设备的参数。新型磁性天线，即所谓铁氧体天线，便属于无线电设备的这类元件，目前它已成为每一台新型接收机中必不可少的组成部分。铁氧体天线之如此广泛地应用，首先在于它的尺寸小，具有固有的方向性，变换天线的位置便可以“避开”干扰源的干扰。

铁氧体天线的方向性（即对于从不同方向传来的无线电波有不同的增益）可以广泛地用于导航设备，用来确定无线电信标的方向。无线电信标是专用的无线电发射机，它的信号能帮助我们找出方向和确定船舶及飞机的位置。

在所谓“袖珍”式和携带式接收机中铁氧体天线得到广泛的应用。这种用半导体元件装配起来的体积小而省电的接收机是长途旅行中的忠诚旅伴。

如上所述，铁氧体天线属于磁性天线这一大类。

铁氧体天线的接收性能以穿过这种天线横截面的磁通和它的改变速率来评价，因而磁学（关于恒定磁场的科学）的知识广泛地卓有成效地用来计算磁性天线。

最简单的磁性天线是环状天线，即长远远小于波长的导线做成的线圈，天线输出端上的电压决定于环状天线的面积，即线圈所包围的面积。环状天线的缺点是有效高度比电偶极子

小。例如，若把长度为 2 米的电偶极子“卷”成一个圆形环状天线，那末，当波长 λ 等于 30 米时，环状天线的有效高度只有电偶极子的十五分之一。

把铁心放进环状天线中能够改善它的接收性能，因为增加了环状天线中的磁通。但是，由于铁心的质量低以及增大了天线中的损耗，直到不久以前有铁心的天线还很少采用。新型磁性材料-铁氧体的出现能够改善磁性天线的接收性能并减小它的尺寸。

DT34/10

目 录

前言

第一章 铁氧体的性质和铁氧体天线元件	1
1. 铁氧体的物理性质	1
2. 磁性天线的铁心, 它的选择和特性	6
3. 天线绕圈的特性	10
第二章 铁氧体接收天线的计算和设计	16
4. 铁氧体天线的接收性能	16
5. 铁氧体接收天线的连接电路	20
6. 铁氧体接收天线的结构计算	25
7. 提高铁氧体接收天线效率的方法	30
第三章 铁氧体天线特性的测量方法	34
8. 测量的原理和方法	34
9. 在标准场中的测量	36
10. 有效高度和天线效率的测量方法	39
第四章 超短波波段的铁氧体天线和采用铁氧体的 天线电路的元件	40
11. 室内电视铁氧体天线	40
12. 无线电测向接收机天线	46
13. 测定无线电波传播方向的铁氧体天线	49
14. 电视天线的对称装置	50
15. 天线的铁氧体变压器	52

第一章 铁氧体的性质和 铁氧体天线元件

1. 铁氧体的物理性质

磁性材料经过长期的发展之后，出现了铁氧体。磁性材料的历史可以追溯到遥远的古代。

上世纪交流电的发现及其在工业上的应用，要求研制出适宜于建立强磁场的特殊材料。铁和它的合金就是这种材料。使用频率较高的弱电流的电报和电话的问世，向磁性材料提出了新的要求。本世纪无线电技术的发展要求更进一步提高磁性材料的频率极限。

随着技术要求的提高，磁性材料也不断地发展和日臻完美。为了减少涡流损耗，由整块的金属铁心改进为片状、带状和条状的铁心。

另一种减少铁心中损耗的方法是采用磁介质。在这种材料中研成粉末状的铁磁性物质的细粒之间由电介质隔开。常见的阿尔西非铝硅铁和羰基铁便是这种材料。有时用磁铁矿粉（铁氧体）制成磁介质。

尽管在发展磁性材料方面有些成就，可是直到不久以前（例如到1946年）仍然满足不了电子学向它提出的要求。只是出现了兼备高导磁性能和高电阻率的铁氧体-铁磁氧化物，才为磁性材料的进一步发展指明了道路。对铁氧体进行的研究发现了它的一系列新的性质，这又促使一些设备的新型元件得到发展。

铁氧体的性质可以依靠观察它的晶格而搞清楚。晶格就是

物质原子（或离子）的一种有严格规律的排列。材料的物理性质，如硬度、脆性等，与晶格很有关系。铁氧体的晶体是立方形的，即铁和氧的原子在晶体中处于立方体的顶点。这些原子本身以及它们与相邻晶体之间依靠内引力坚固地连结起来。铁氧体晶格中两价的铁原子可以被别种金属的原子所置换，只要这种原子是两价的并且与铁原子有大致相同的直径，因为在这种情况下新的材料中仍然保持立方晶格。

金属原子（锰、镁、锌、铜、镍和钴的原子）最容易置换铁原子。

铁氧体的磁性质决定于置换的金属原子的种类以及该原子在晶格中的几何位置。例如，若铁氧体中的一部分两价铁原子被锌原子所置换，那末它的导磁率便会大大的增加，而导电率却将减小。

工业生产的大多数铁磁氧化物都是铁氧体的混合物，即两种或多种简单铁氧体的固态溶体。

铁氧体铁心的制造工艺与陶瓷零件的生产工艺差别很小。铁氧体物质有两种制备方法。一种方法是用金属氧化物混合而成；另一种方法是用盐溶液混合而成。第一法将氧化物按一定比例混合，压制成块状体，并在880—1100°C温度下进行初步焙烧。第二法将混合的盐溶液熬干，经过灼烧取得氧化物混合体，再象第一法那样进行压制和焙烧。后一种方法可以获得工艺差异性小的、铁氧体的极优良的磁特性。

经过初步焙烧的块状体再用球磨或震动磨研磨成粉末。得到的粉末筛过后作为压料。在压料中掺入粘剂（聚乙烯酒精、石蜡），掺入量根据材料下一步的制造工艺而定：如拉丝或铸造，则掺入10—15%的聚乙烯酒精；如压制则掺入6—8%的聚乙烯酒精。铁氧体制作件最终的焙烧温度取决于铁氧体的型号，

它的范围是900—1400°C。鉄氧体通常在氧化煤质中进行焙烧，但錳鉄氧体要在中性煤质——真空中焙烧。

焙烧时鉄氧体鉄心的收缩率可以达到15%，視制造工艺而定。焙烧温度略有偏移便会改变鉄氧体的电特性、磁特性和收缩率，所以要使鉄心获得同一特性并且尺寸在允许的范围內，必須严格地遵守焙烧规范。鉄氧体几乎不能作机械加工，而只能用砂輪（如刚玉制的砂輪）磨制。

鉄氧体属于半导体一类，随着成分和制造工艺的不同，它的电阻率可以由 10^2 欧/厘米到 10^8 欧/厘米，而金属磁性材料的电阻率只有 $(10-15) \times 10^{-6}$ 欧/厘米左右。由于鉄氧体的电阻率很高，所以具有鉄氧体心的綫圈有很高的品质因数，低频时（几千赫左右）超过500，频率在500—1000千赫时高于300。

鉄氧体的导磁率决定于材料的化学成分和材料的结构，大約为1至几千高/奥（表1）。

已經知道有导磁率約为7000高/奥的鉄氧体。应该注意，鉄氧体的型号中往往标明了鉄氧体的导磁率的数值。例如，导磁率为600高/奥的鉄氧体的型号是 ϕ -600。鉄氧体的一个极重要的特性是在很宽的頻带內保持着高导磁率（随频率的增高金属鉄磁物导磁率的减小与片和带的厚度有关）。

图1是磁性材料的主要特性——表示磁感应 B 与磁化强度 H 間关系的磁滞迴綫。导磁率 μ 的数值取决于磁化曲綫切

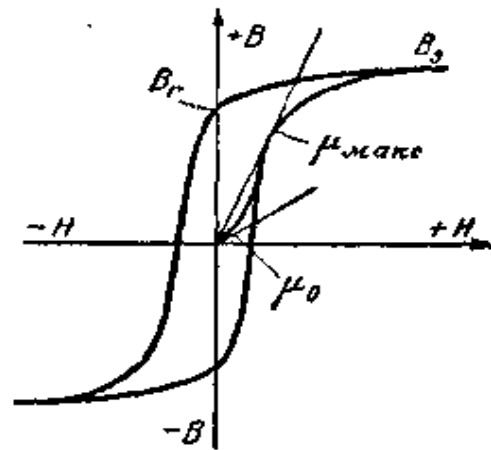


图1 鉄氧体的磁化曲綫和磁滞迴綫

参 数	铁 氧		
	$\phi=20$	$\phi=100$	$\phi=400$
起始导磁率 μ_0 , 高/奥	20—25	1000	400
最大导磁率 μ_{max} , 高/奥	80—1000	150—200	—
饱和磁感应 B_s , 高	2200—2400	2700	—
导磁率的温度系数 $\times 10^{-6}$	+330	+1300	+700
极限频率 $f_{\Gamma p}$, 兆赫	80	15	7

注：表中所列的温度系数是在正的温度范围（+20—+60°C）内测定的。所有
 线倾角的正切，它随着磁化强度在很大范围内变化。对于接收
 天线中所用的铁氧体来说，起始导磁率 μ_0 (μ_0 是材料在极小的
 磁化强度下的导磁率) 最为重要。磁滞回线的面积表征材料的

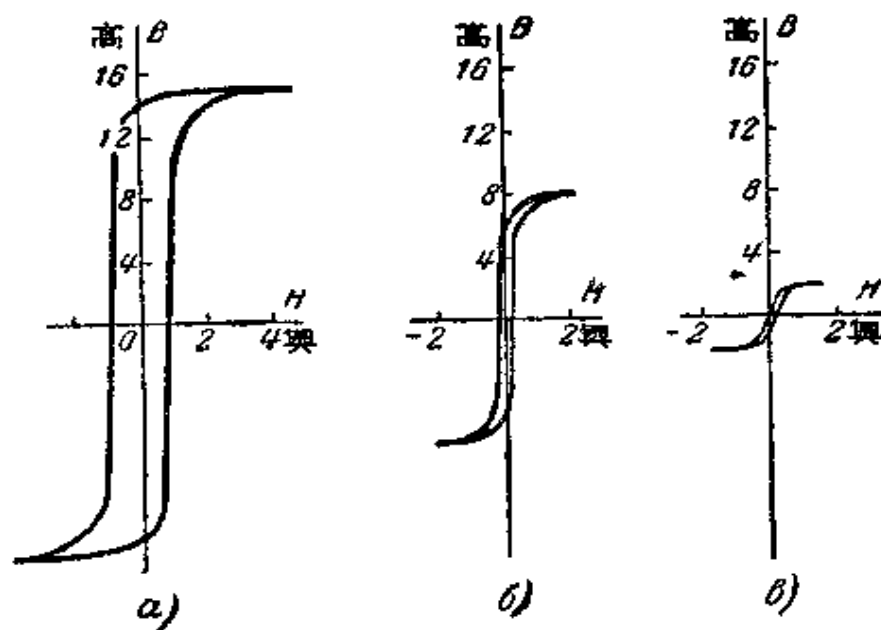


图 2 磁滞回线
 a—变压器钢;
 b—坡莫合金;
 c—铁氧体

表 1

体	型 号		
$\phi-600$	阿克 西非 1000	阿克 西非 2000	阿克 西非 3000
600	800—1200	1800—2400	2600—3500
3000	3000—3500	6000—7000	5000—6000
2700—2900	2900	2300	3200
+3400	+8300	+8000	+3150
4	2	0.7	0.9

情况下都取铁氧体环作为试件。

磁损耗，数值 B_r 为剩余磁感应， B_s 为饱和磁感应。解算装置和磁放大器中采用的磁性开关的比值 B_r/B_s 应很高。最后，标明在图 1 上的末了一个数量 μ_{max} 称为最大导磁率，它的数值对于工作在大磁化强度下的行扫描变压器、扼流圈以及其它设备是极为重要的。

电工技术中采用的主要磁性材料（变压器钢、坡莫合金和铁氧体）的典型磁滞回线如图 2 所示。这些曲线表示上述材料的主要特性。其中铁氧体的导磁率 μ 及饱和磁感应 B_s 的数值较小，而剩余磁感应 B_r 几乎完全没有。

由于铁氧体的电阻率高，实际上不存在涡流损耗，所以磁滞回线的面积很小，只有随频率

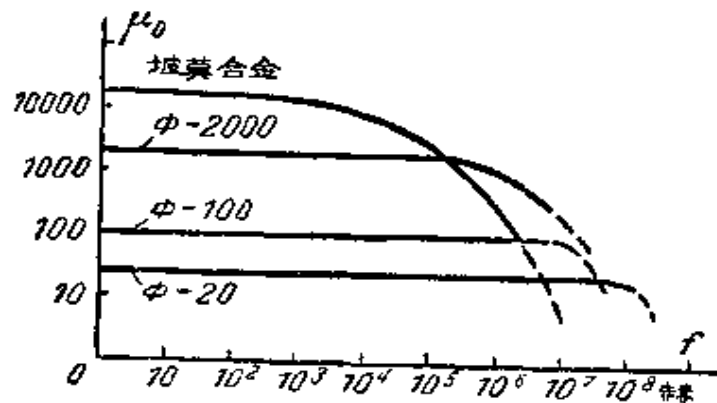


图 3 铁氧体的导磁率与频率的关系

而增大的磁后效損耗和磁粘滯性損耗。導磁率開始下降和損耗劇烈增加時的頻率稱為極限頻率或臨界頻率。圖3舉出了各種磁性材料的導磁率與頻率的關係。

通常，只有在低頻下——從幾千赫（鎳鋅鐵氧體）到幾萬赫（錳鐵氧體）——鐵氧體的介電系數的數值才很大。鐵氧體

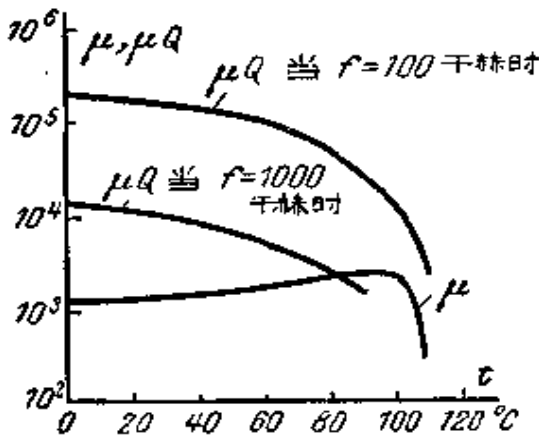


圖4 乘積 μQ 和 μ 與溫度的關係曲線
增加時溫度系數隨着增大是鐵氧體所特有的（圖4）。

介電系數的顯著特點是它與頻率有關，即隨着頻率的升高介電系數將急劇地減小（降低到等於10—20）。

鐵氧體的主要缺點是溫度系數^①高，因為這種材料的居里點^②與室溫相差不遠。導磁率

2. 磁性天綫的鐵心，它的選擇和特性

磁性物體的特性與它形狀的關係很大。表1列舉的導磁率數據表示環形鐵心的起始導磁率 μ_0 。鐵氧體天綫的鐵心是細長的，它的長度比厚度、寬度或直徑要大得多。天綫鐵心的另一特點是，兩端（極）之間存在空氣隙。這種天綫的導磁率和鐵心長度與橫截面面積的比值有關。

可以由磁性本質來闡明這種關係。在磁化場的作用下，鐵磁性物體中鐵磁微粒的磁矩重新排列，正極轉向順外磁場的方向，而負極轉向逆外磁場的方向。排列起來的微粒建立附加磁

① 溫度每改變 1°C 所引起的導磁率改變的相對值稱為導磁率的溫度系數。

② 居里點是指這樣的溫度值，當溫度超過這個數值以後材料便失去磁性。

場，削弱外磁場。附加（或去磁）磁場的數值決定於物體的尺寸，物體的縱向尺寸相對於橫向尺寸越短，去磁磁場的影響就越大。只有橢球形鐵心的這種場的影響考慮起來比較簡單，可引入去磁係數 N 來

表示， N 與橢球長短軸的比值有關。去磁係數的數值在 0（對於無限長橢球體）到 1（對於圓盤）之間。計及物體形狀和尺寸後的導磁率稱為有效導磁率 μ_e 。它以相對單位計量，表示

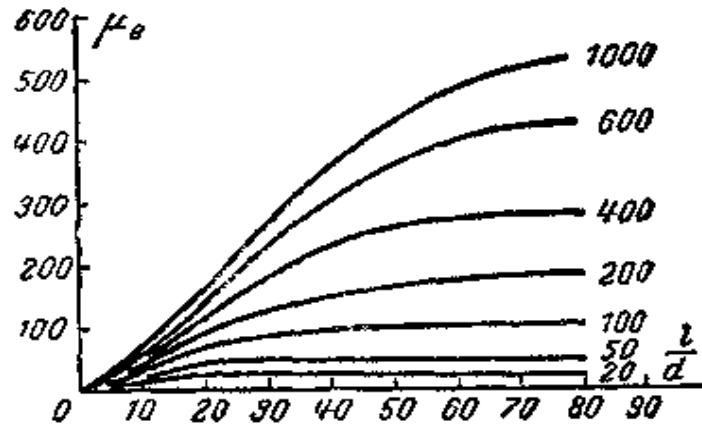


圖 5 鐵心有效導磁率 μ_e 與比值 l/d 之間的關係

這個物體的磁通密度比真空中的磁通密度大多少倍。橢球體的有效導磁率用下面的簡單公式來計算：

$$\mu_e = \frac{\mu_0^{①}}{1 + \frac{N}{4\pi}(\mu_0 - 1)}$$

實際上，在極大多數情況下，天綫鐵心的形狀（圓柱體、平行六面體、稜柱體）都不是橢球體。因鐵心形狀不同所引起 μ_e 的變化可以根據以關係式 $\mu_e = f\left(\frac{l}{d}\right)$ 表示的實驗曲綫（圖 5），或格（見表 2），或經驗公式來確定。例如由下面的公式可以得到良好的結果：

① 此處 μ_0 表示起始導磁率與真空導磁率之比值，即相對起始導磁率。——譯注

表 2

l/d	具有下列起始导磁率的铁心的 μ_e			
	$\mu_0=5$	$\mu_0=10$	$\mu_0=100$	$\mu_0>200$
1	2.25	3.0	3.2	3.5
2	3.3	4.6	6.5	8
3	3.85	6.0	10	12
4	4.2	6.7	15	18
5	4.35	7.2	20	24
6	4.5	7.8	25	31
8	4.7	8.3	34	37
10	4.8	9.1	41	>63
15	4.85	9.4	52	>78
20	4.9	9.6	60	>95

$$\mu_e = \frac{\mu_0}{1 + 0.84 \left(\frac{d}{l} \right)^{1.7} (\mu_0 - 1)},$$

式中 d ——圆柱体铁心的直径；

l ——圆柱体铁心的长度。

铁氧体型号的选择完全决定于天线的用途和工作频段。在本书整个篇幅中我们将反复讨论这个问题。

实践认为，长波段的天线采用 $\Phi-600$ 或 $\Phi-1000$ 型号的铁心最合适，而中波段采用 $\Phi-400$ 或 $\Phi-600$ 最合适。在短波天线中采用起始导磁率约为 100—200 高/奥的铁心是有益的，而超高频天线中宜于采用 μ_0 约为 15—25 高/奥的铁心。

铁心横截面形状所起的作用远小于铁心纵向与横向尺寸的比例或者铁心材料的选择。横截面形状大都根据结构上的理由来选择。最常用的是圆形截面，而矩形的（薄片铁心）较少采用，正多角形截面（棱柱形铁心）更少采用。也可以采用空心

圓筒鐵心，因为高频时磁化磁通沿鐵心橫截面的分布可能是不均匀的，致使鐵心的内部磁性材料没有被充分利用。因此，采用空心鐵心有如下好处：鐵心中不再存在低有效导磁区域了。

計算有效导磁率时，將鐵氧体天綫鐵心的所有橫截面形状都折算成圓形。計算等积圓面直径 d_3 的公式标在图 6 上。

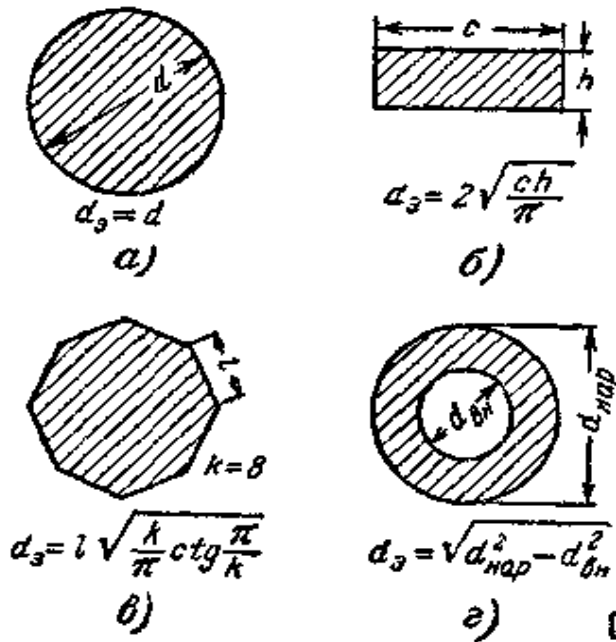


图 6 鐵心的橫截面和它的有效直径
 a—圓柱； b—薄片； c—梭柱；
 e—空心圓筒

有时需要制造“曲折的”鐵心，例如 Z-形鐵心（图 7）。这种鐵心只要变更天綫的位置就可以避免干扰而不必改变綫圈位置。



图 7 Z-形鐵心的天綫
 1—鐵心； 2—綫框； 3—綫組

这种形状的鐵心可以由单独的水平 and 垂直部分用 $B\Phi$ 胶或环氧树脂胶合而成。鐵心相接触的表面应该用通用工艺將它們磨光后粘牢。胶合过程中，应監視装配好的鐵心的烘干溫度，不要让它升高到居里点。

除溫度外，强的恒定磁場也会影响鐵心的磁特性。磨制鐵心时必须注意这点，因为工件往往依靠强磁鉄装牢在磨床上的。鐵心的磁化使損耗显著地增大。加工鐵心时必须記住，鉄

氧体的机械性能与陶瓷相似，如果粗心大意，可能使铁氧体破碎。

3. 天綫綫圈的特性

天綫綫圈是铁氧体天綫必不可少的元件。图 8 是外部磁場和天綫綫圈的内部磁場因插入铁氧体棒而改变形状的示意图。天綫本身的接收特性决定于内外两磁場的相互联系。

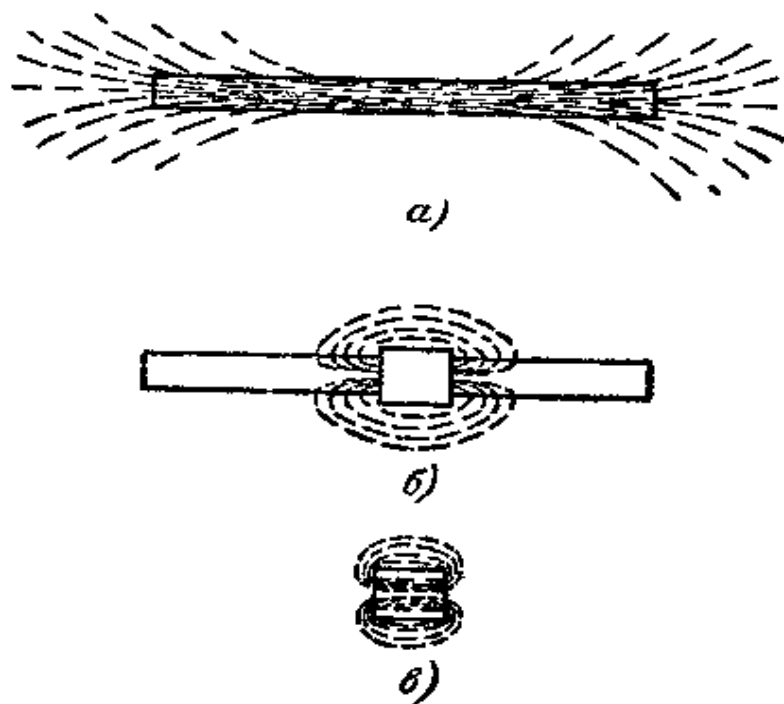


图 8 铁氧体天綫的磁場

a—“外部”磁場（插入磁棒后的变形磁場）；

b—“内部”磁場（天綫綫圈的磁力綫）；

c—无铁心的綫圈磁場

铁氧体天綫的天綫綫圈通常做成多匝綫圈并且是輸入迴路的一部分（电感支路）。它的电气特性用电感量 L 和品质因数 Q 来表示。品质因数 Q 是一个衡量綫圈損耗的量，它决定于已調諧的綫圈的感抗与电阻的比值。这两个量 L 和 Q 的数值与铁

心的特性（导磁率）（磁損耗，綫圈与鉄心的相对位置等）有关。表示天綫綫圈位置的最重要的实体尺寸注明在图9上。

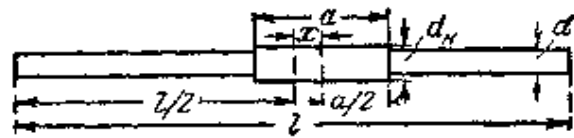


图9 鉄氧体天綫的实体尺寸

在天綫綫圈中采用鉄心可以增加它的电感量。空心綫圈的电感量 L_0 （以亨为单位）常按下式計算

$$L_0 = \omega^2 d_k \Phi \cdot 10^{-9},$$

式中 ω ——匝数；

d_k ——綫圈直径，单位厘米；

Φ ——常数，主要决定于綫圈直径和长度的比值。

当 $0.25 < a/d_k < 1.3$ 时， Φ 的数值按下式計算

$$\Phi = 1 + 6 \frac{d_k}{a},$$

式中 a ——綫圈长度。

有鉄氧体棒的天綫綫圈电感量增加的倍数視系数 μ_k 而定。

系数 μ_k 从数量上表示了 in 电感綫圈中置入鉄心后磁路上磁阻重新分配的情况。在空心綫圈中，內磁路的磁阻要比外磁路上的磁阻約高5—9倍（与綫圈結構有关）。在綫圈內置入棒以后，內磁路上的磁阻剧烈减小，使得它远小于外磁路的磁阻。因此， μ_k 的数值是随鉄心的起始导磁率、鉄心尺寸和綫圈結構不同而在5至12之間变化。这样一来，有鉄心的綫圈电感量就提高为无鉄心的綫圈电感量的5—12倍。

当 $l=200$ 毫米、 $d=8$ 毫米、 $\mu_0=200$ 和 $w=30$ 的綫圈的长度相对增大时，中波鉄氧体天綫的乘积 $\Phi\mu_k$ 的变化如图10所示。綫圈在鉄心上的位置要影响 μ_k 的数值（因而影响綫圈

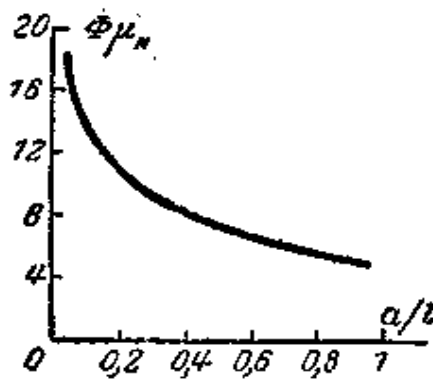


图 10 当铁氧体天线的天线线圈长度相对增大时，乘积 $\Phi \mu_k$ 的变化

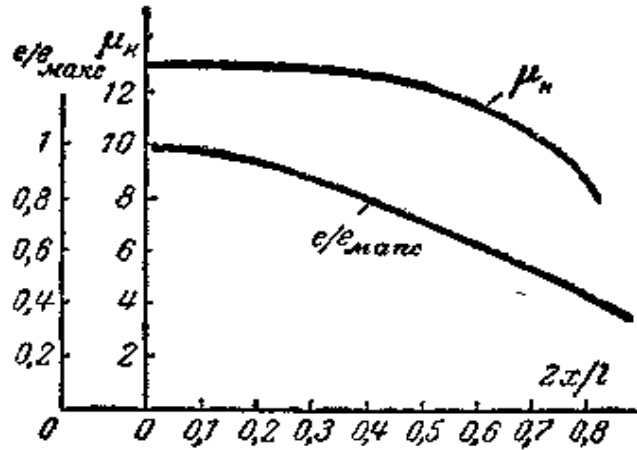


图 11 比值 $2x/l$ 变化时， e/e_{max} 和 μ_k 的变化

的电感量)。线圈挪离棒的中心越远，它的电感量便越小（图 11）。这个效应常常用来调整天线线圈的电感量。然而，尽管这种调整结构上方便，但必须看到，把线圈从中心移开将使铁心横截面上的磁通减小（由于铁心中磁场不均匀了），从而使线圈中感应的电动势 e 小于线圈位于棒中间时感应的电动势 e_{max} （图 11）。

天线线圈的品质因数在很大程度上决定了铁氧体天线的接收特性。因为在回路中没有附加的损耗源时，品质因数与输入回路电压的数值成正比。

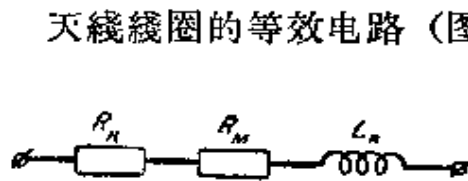


图 12 铁氧体天线的天线线圈等效电路

天线线圈的等效电路（图 12）画成线圈电阻 R_k 、磁损耗电阻 R_m 和电感 L 相串联的形式。普通的铁氧体天线 $R_k \ll R_m$ ，所以品质因数主要与铁心的磁特性有关，可用下式

计算

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_k + R_m} \approx \frac{2\pi f L}{R_m}$$

磁心中的損耗可用下式来表示

$$R_x = b\mu f^2 L + a\mu f B L + c\mu f L,$$

此式在一定程度上說明了为什么鉄氧体在高頻範圍內得到广泛应用。

式中 L ——綫圈的电感，单位亨；

f ——頻率，单位赫；

b ——涡流系数，与电阻率成反比；

a ——磁滯系数，与磁滯迴綫的面积有关；

c ——与材料的磁粘滯性有关的系数。

由于鉄氧体 b 和 a 的数值小，所以总的損耗电阻也小。上述等式只有在低于临界頻率的頻率範圍內才适用于鉄氧体，因为从临界頻率起材料的导磁率和品质因数开始迅速地下降。通常把品质因数降到10的頻率取作临界頻率。

卓越的俄国物理学家 B. K. 阿尔卡奇耶夫在研究了磁性材料的性质后，早于1912年便預言，除涡流外磁性材料中还有一些使損耗增加和导磁率下降的其它因素在起作用。第一个因素是所謂磁畴諧振。在磁性材料中质点的磁矩呈現明显方向的区域称为磁畴。磁矩的方向从一个方向过渡到另一个方向的区域称为磁畴間的边界（畴壁）。由于慣性、結晶力（弹性）的作用以及損耗的存在，畴壁在某一确定的頻率上会发生諧振，好象一个由 R 、 L 和 C 构成的迴路；或者，当損耗很大时发生张弛振蕩。这种諧振表现为能量的吸收現象（損耗增加）。

第二个因素是鉄磁諧振，它发生于外加交变磁場的頻率与所謂进动頻率一致的时候。物质的电子除沿着軌道旋轉外还繞着本身的軸旋轉。自轉磁矩的取向在一般情况下是任意的。当直流磁場作用到电子上便会发生进动，即磁矩較緩慢地轉动。

曾經发现，安置在波导中的鉄氧体片在橫向磁場的作用

下，会将某些波型吸收掉，即一部分波的能量用来维持进动。另外一些波在这波导中无损耗地传播。当进动频率与磁场的频率一致时，这种现象便最明显地表现出来。这样，同一种材料对于不同的极化波具有不同的特性。进动频率与恒定磁场有关。通常在几千兆赫时观察到这种现象，那时材料被作用在它上面的恒定磁场所饱和。对于某种极化场，这种谐振呈现出损耗剧增和导磁率数值变动的现象。铁磁谐振现象（更精确些说是谐振频率依赖于外加恒定场的数值的现象）广泛地用于超高频波段。

当铁心长度与电磁波的半波长相等时，在铁心中产生尺寸谐振。例如，在导磁率达1000、介质系数为100000的锰锌铁氧体中会产生这种现象。同上面谈到的情况一样，尺寸谐振表现出损耗增大的现象。

B. K. 阿尔卡奇耶夫建议以复数表示物体（这儿是有铁氧体棒的天线线圈）的导磁率

$$\bar{\mu} = \mu' + j\mu''$$

式中实部 μ' 表示物体固有的导磁率，而 μ'' 表示损耗，其中包括辐射损耗。以这种观点去研究导磁率可以发现磁性天线一系列有趣的特性。 μ'' 的数值由直接测量来决定，它等于物体导磁率与损耗角正切的乘积

$$\mu'' = \mu' \operatorname{tg} \delta \approx \mu \frac{R_m}{\omega L}$$

借助于这个概念我们得到一个表示天线阻抗和品质因数对于棒和线圈尺寸之间的关系式。例如具有椭球形铁心且铁心整个长度上密绕着线圈的天线的电阻可用下式表示

$$R_m = \omega \mu_n \omega^2 \frac{s\Phi}{10 a} \frac{\mu''(1-N)}{[1 + N(\mu' - 1)]^2}$$

式中 μ_a ——空气的导磁率，而小型天线的品质因数的公式为

$$Q = \frac{\mu' [1 + N(\mu' - 1)]}{\mu''(1 - N)}$$

我们来仔细地研究天线线圈采用的绕法。线圈绕法对天线特性影响很大。它应该根据匝数、天线工作波段、铁心尺寸和所用导线的直径来选择。

在长波和中波波段最常采用密绕（一匝紧靠着一匝）单层线圈（对于铁心直径在 10 毫米以下者），但是具有特定匝距（等匝距或递增匝距）的分布线圈更有利于保证优良的接收性能，不过绕制比较费力。当棒的直径足够大时，这种线圈只要较少的匝数（不超过 30 匝）。短波天线线圈，特别是超短波天线线圈也采用分布绕法。

天线线圈有时分成若干段。这样做既为了便于波段的转换，又为了获得铁氧体天线的最高效率。关于计算分段天线线圈的更详细的知识将于下一章中讲述。

天线线圈的结构（它的长度和直径）对品质因数有极重要的影响。例如，当绕架直径增大时，如果棒尺寸不变而且天线线圈有同样的匝数，那么线圈品质因数起初是增高，继而到达某个最大值，此后便开始下降（图 13）。天线线圈直径增大的同时导致铁心有效导磁率 μ_e 有所下降，可用如下公式来计算

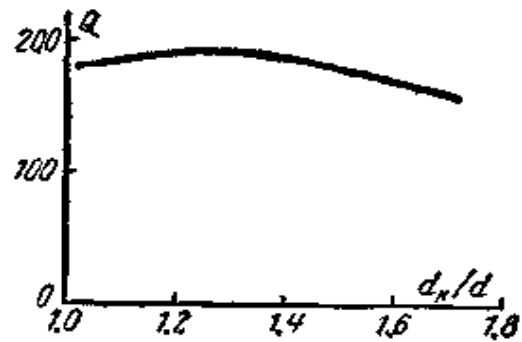


图 13 绕架直径相对增大时中波天线线圈品质因数的变化

$$\mu_e' = \frac{D_{cp}^2}{d^2} (\mu_e - 1) + 1,$$

式中 D_{cp} ——天綫綫圈的平均直径；
 d ——棒的直径。

綫圈长度增加往往也使它的品质因数有某些下降。

长波和中波波段天綫綫圈的綫架通常用紙板制成。在短波波段，特别是超短波波段必須应用損耗小的材料，如聚苯乙烯和氟塑料。

在綫圈是密繞（一匝紧靠着一匝）而成的情况下，天綫綫圈导綫型号的选择是很要紧的。对于中波和长波波段的綫圈，采用 9×0.07 絞綫时的 Q 比采用普通漆包綫大 150—200%。当綫圈的匝距为 1.5—2 毫米时，导綫型号对綫圈质量的影响不大显著。

鉄氧体天綫的天綫綫圈有一个有趣的特性，即在全部工作頻带上乘积 $\mu_e Q$ 保持恒定。这个特性簡化了天綫参数的选择，这一点下面将要談到。但乘积 $\mu_e Q$ 却不能在所有頻率上始終恒定，在工作頻带范围以外它随着頻率的增高而下降。

第二章 鉄氧体接收天綫的計算和設計

4. 鉄氧体天綫的接收性能

接收天綫把电磁場能量变为电振蕩，再通过接收机将电振蕩放大。这种变换的质量可以用天綫的“有效高度” h 来衡量。 h 是电場强度 E 与天綫中产生的电动势 e 間的比例系数。有效高度决定于天綫几何尺寸与被接收波长的比值，以长度单位来度量。

最簡單天綫的古典雛型是赫芝偶极子（图14, a）。赫芝偶极子的有效高度等于它本身的长度 $2l$ ，所以天綫上的感应电动

勢用如下簡單的公式來計算

$$e = E h = 2 l E,$$

它接收來自周圍空間的無線電波的能力不是均勻的，可以用方向圖來表示（圖14,б）。方向圖表示指定的方向1的波在天綫中感應的電動勢與主方向上接收時感應的最大電動勢的比率。赫芝偶極子的接收主方向位於赤道面上，即垂直於偶極子的軸並通過它的中心的平面上（圖14,б）。

基本電偶極子的電場和磁場的結構如圖14,в所示。

因為所有的電量值（電流、電壓、電場強度）都有自己的磁對偶，因此不難想象到對偶於電偶極子的理想磁偶極子（圖14,г）。磁偶極子的場畫在圖14,г上。將它與電偶極子的場相比較，可以看出：符號 E 和 H 換位，並在圖上畫出位移磁流，而不是實在的電流 I 。

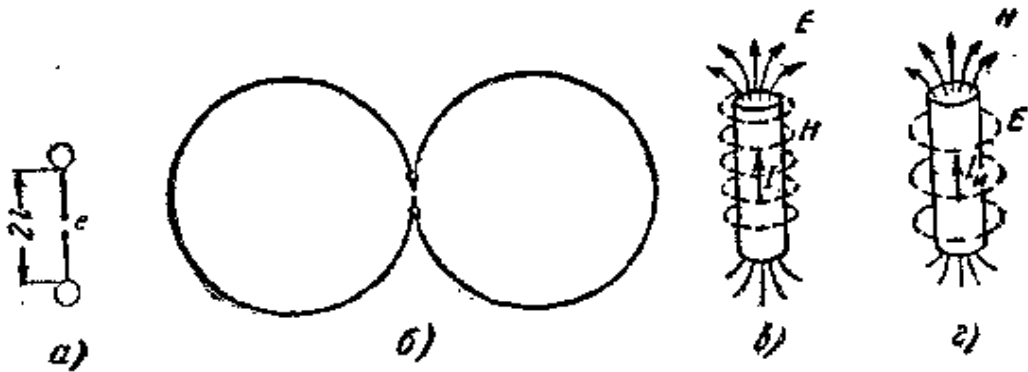


圖 14 元天綫
 а—赫芝偶極子； б—赫芝偶極子的方向圖； в—理想電
 偶極子； г—理想磁偶極子

比較一下電天綫和磁天綫的輻射電阻便明顯地看到它們之間的差別。輻射電阻表示天綫輸入端電流和電壓給定時發射天綫的輻射功率。

輻射電阻與有效高度的關係用如下簡單公式表示

$$R_{\Sigma} = 20(mh)^2,$$

式中 $m = \frac{2\pi}{\lambda}$;

λ ——波长。

将铁氧体天线有效高度的数值代入此式可以算出它的辐射电阻总共只有十分之几欧。可是电天线的辐射电阻达到几十欧（例如半波振子的辐射电阻等于 73 欧）。

但是，铁氧体天线有谐振特性，结果使天线线圈中的电流或者它两个端头上的电压增大，部分地弥补了辐射电阻小的缺点。

铁氧体天线的有效高度决定于铁心中磁通的数值以及磁通与天线线圈的耦合度。因此在有效高度的计算公式中引入铁心的有效导磁率 μ_e 、铁心横截面积 S 、工作波长 λ 和天线线圈的匝数 w ：

$$h_{\Sigma} = \frac{2\pi w S}{\lambda} \mu_e.$$

已经说过，天线线圈用作输入回路的电感，它通常直接连接到接收机的输入端。当接收机第一级采用电子管时，铁氧体天线给出最佳结果。这种情况下，如果电子管的输入电阻 $R_{\text{вх}}$ 远远超过回路的等效电阻 R_0 ，对回路不呈现分流作用（即遵守条件 $R_{\text{вх}} \gg R_0$ ），那么回路电压将增大到原来的 Q_{Σ} 倍。主要决定于线圈品质因数 Q 的输入回路的质量用数值 Q_{Σ} 来衡量。可见，输入回路成了天线中感应电动势的变压器。为了表示天线和输入回路的综合作用，常常采用“折合有效高度”或者采用“铁氧体天线效率”的概念，它用下式计算

$$h'_{\Sigma} = h_{\Sigma} Q_{\Sigma}.$$

如果知道电磁场的强度，可以用 h'_{Σ} 的概念来计算输入电

子管控制栅上电压的数值，用下式表示：

$$U_{\text{BX}} = E h'_{\text{r}}$$

利用折算公式可以将接收天綫（例如两种最流行的室内天綫）进行比较。这两种室内天綫是：长 2 米的普通直立导綫和具有长 200 毫米、直径 15 毫米、起始导磁率 $\mu_0 = 200$ 的鉄心的接收机机内鉄氧体天綫。鉄氧体天綫的天綫綫圈的品质因数約等于 200 ($\omega = 75$ 、 $\mu_c = 70$ 和 $L = 0.8$ 毫亨)。用以比較的计算将在 1 兆赫 ($\lambda = 300$ 米) 的頻率上进行。

参 数	直立导綫	鉄氧体天綫
輸入电路放大系数·····	3	200
有效高度·····	2 米	0.02 米
效率·····	6 米	4 米
$E = 100$ 微伏/米时电子管栅极上的电压·····	600 微伏	400 微伏

计算表明，鉄氧体天綫的效率略低于长 2 米的直立导綫，但毫无疑问它却比較小巧。除小巧外，鉄氧体天綫还具有一系列其它优良品质。有鉄氧体天綫綫圈的輸入迴路的高品质因数保証了对輸入信号有良好的頻率选择性，因此减小了邻近电台的干扰。通頻帶寬度（在通頻帶內，信号功率的减弱不超过 $\frac{1}{2}$ ）可以由頻率除以品质因数所得的商求得。对于 $f = 1$ 兆赫的情况，通頻帶寬度只有 5 千赫，而使信号功率减弱到十分之一的頻帶寬度約为 40 千赫。接收机輸入端窄的通頻帶有助于很好地防止頻譜极寬的工业来源的干扰（电流放电、脉冲干扰等）。鉄氧体天綫的选择性高，在很多場合下可以省去接收机中的高频放大器，因为鏡象頻道的干扰已受到大大的削弱。

鉄氧体天綫的一个可貴性质是，改变它的取向可以实现空間选择性。磁天綫水平面上的方向图对于垂直极化波具有“8”

字形特性，如图15所示。假若在个别情况下，除有用信号外还有来自另一方向的干扰信号作用在天线上，那么将天线转过某个角度 φ 便可以大大地削弱干扰信号。

铁氧体天线的频率特性是有趣的。当频率增高时， μ 值大的铁氧体的损耗增加，因而为了保持足够高的Q值必须采用低导磁率的铁氧体。用作射频频天线铁心的铁氧体，随频率上升其导磁率下降的情形表示在图16上。导磁率的减小毫无疑问要减小铁氧体天线的有效高度，但是另外也有与这个不利趋势相反的作用，即当天线几何尺寸不变且比波长 λ 小，则频率增高时天线的接收特性将得到改善。总之，实践表明，在任何情况下，从长波波段起到超短波（米波）波段为止，采用铁氧体天线不会显著地降低天线效率（图16）。

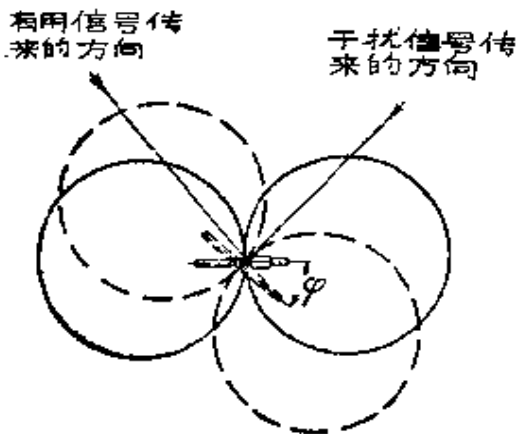


图 15 铁氧体天线的空间选择性

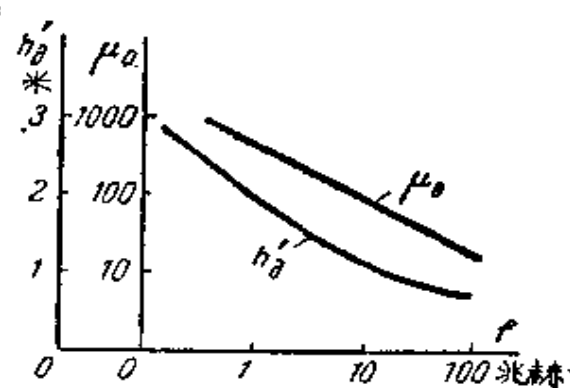


图 16 不同频率下起始导磁率 μ_0 和铁氧体天线效率 h_a 的变化

5. 铁氧体接收天线的连接电路

输入电路应该在计及上述考虑的情况下进行选择；必须获得最大的有效高度和保持最高的品质因数。选择电路时还要考虑到天线与接收机下一级的匹配方法。除此以外，在每一个个别

情况下还要考虑天綫和接收設備一起的作用和用途。例如，在携带式接收机中，結構上的考虑是主要的，然而，对于大的台式接收机必須設法获得最大的天綫效率。

大家知道，当天綫的内电阻等于負載电阻时，天綫給出最大功率。从这个观点来看，似乎應該使輸入迴路电阻 R_0 与电子管輸入电阻 R_{bx} 相等。但是，如果把电子管看成电压放大器，那么增大輸入迴路上的电压总是有益的，尽管这时迴路和天綫給出的功率将小于可能的数量。应当认为，在迴路上取得最大电压的条件是：

$$R_{bx} \geq 3R_0.$$

当电子管輸入电阻太小时，輸入迴路的品质因数，自然，連輸入电路的放大系数都将大大地降低，以致使天綫的效率减小。这通常发生在短波波段，特别是在超短波波段。例如，60兆赫时电子管的輸入电阻（共对应于某些給定頻率的电阻值載于手册中）开始与頻率的平方成反比地减小。

例如，当頻率为60兆赫时电子管2Ж27П的 R_{bx} 等于15千欧，頻率等于30兆赫时它的 R_{bx} 就等于60千欧了，而頻率为90兆赫时， R_{bx} 只有6.66千欧。

迴路的部分連接可以获得电子管輸入端与迴路的匹配。图17表示各种連接电路：自耦变压器式(a)、电感式(b)、电容式(c)以及天綫直接耦合(e)。这些連接方式各有长处。如果准确地知道电子管輸入电阻 R_{bx} 和迴路等效电阻 R_0 的数值，那么宜于采用自耦变压器式連接。在这种情况下，将电压加至电子管栅极的天綫綫圈的匝数可用下式計算

$$w_{cb} = \sqrt{\frac{R_{bx}}{3R_0}} w^2,$$

式中 R_0 —— 輸入迴路的等效电阻，等于 $Q\rho$ 或 $Q\omega L_1$ ；

w ——天綫綫圈的总匝数。

电感耦合比較灵活。它可以凭試驗来移动固定的天綫綫圈旁边的耦合綫圈去改变耦合綫圈和天綫綫圈間的互感，以获得最佳效果。这种耦合也非常适合于第一个电子管是变频器的情况。耦合綫圈套在鉄氧体天綫的鉄心上。

电容耦合（图17,б）通常用于固定調諧的接收（即不必調諧天綫迴路的接收）設備中。鉄氧体天綫的直接耦合（图17,в）最广泛地应用于中波和长波波

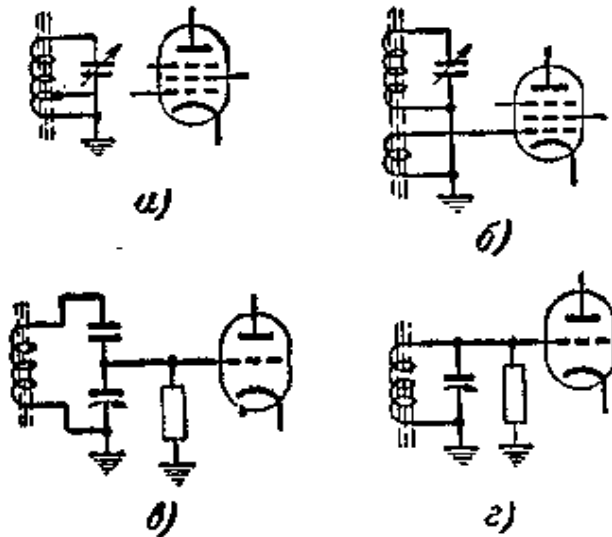


图 17 在电子管輸入級中連接鉄氧体天綫的方式

a—自耦变压器耦合；б—电容耦合；
в—电容耦合；г—直接耦合

必須采用弱耦合。在图 18, a 上画出了檢波低放式接收机的电路。在天綫不完全接入的超外差接收机电路中，建議只将60匝的綫圈中的9匝接入基极发射极电路。这样，接到輸入迴路的那部分的电阻减小到只有天綫直接耦合时的 $\left(\frac{60}{9}\right)^2 = 40$ 分之一，而从輸入迴路上取下的电压只减小为 $\frac{60}{9} = 6.66$ 分之一。

但是，即使弱耦合，輸入迴路品质因数仍然下降。所以有时为了提高这种接收机的灵敏度，采用发射极輸出器或者共集

段。选择天綫和接收設備間适当耦合的問題，在由輸入电阻（約几百欧）比电子管小得多而輸入电容的数值很大的半导体器件装配成的設備中具有特殊的意义。

这时天綫与輸入級之間

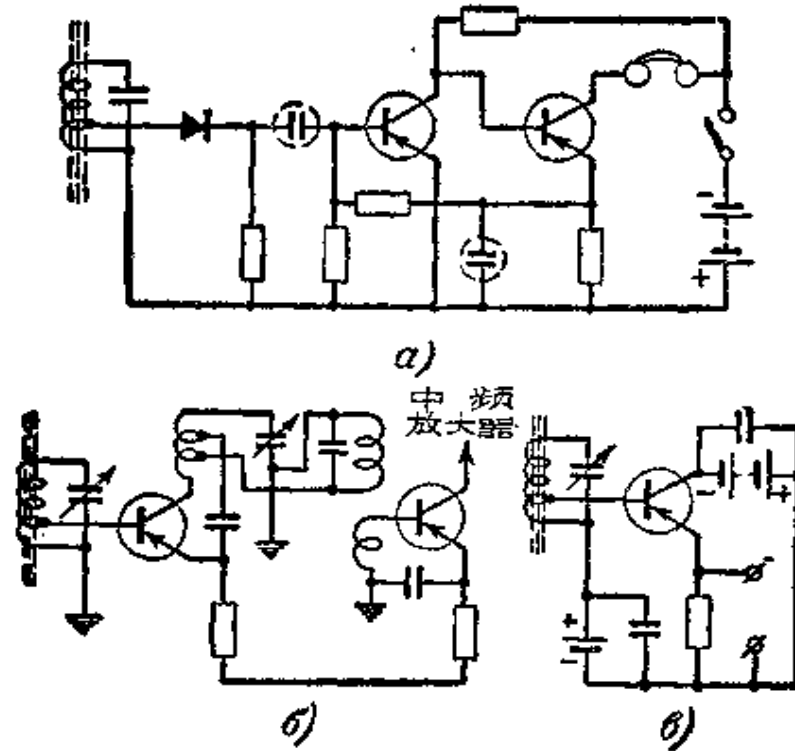


图 18 半导体接收机中鉄氧体天綫的连接方式
 a—在檢波低放式接收机中；b—在超外差式接收机中；
 c—使用发射极輸出器的接收机中

电极电路（图18, c）作为第一級，在許多情况下是有益的。采用发射极輸出器可以保持輸入迴路有高的选择性以及使得鉄氧体天綫的高质量完全付諸实现，因为发射极輸出器的輸入电阻等于 βR_n （現代晶体管的 β 可达 50 甚至 84），式中 R_n 是輸出器的負載电阻。

有时需要将鉄氧体天綫“拿出”接收机之外，用饋綫把它与接收机連接起来。这种情况下必不可免地要采用发射极輸出器（两級）或者电子管阴极輸出器。这种裝置的电路如图19所示。

晶体管中 $n-p$ 結的电容在大多数情况下被视为寄生电容，它限制了器件的頻带。然而在許多情况下，这个电容的存在，或者更确切地說，这个电容在加于晶体二极管上的电压的作用

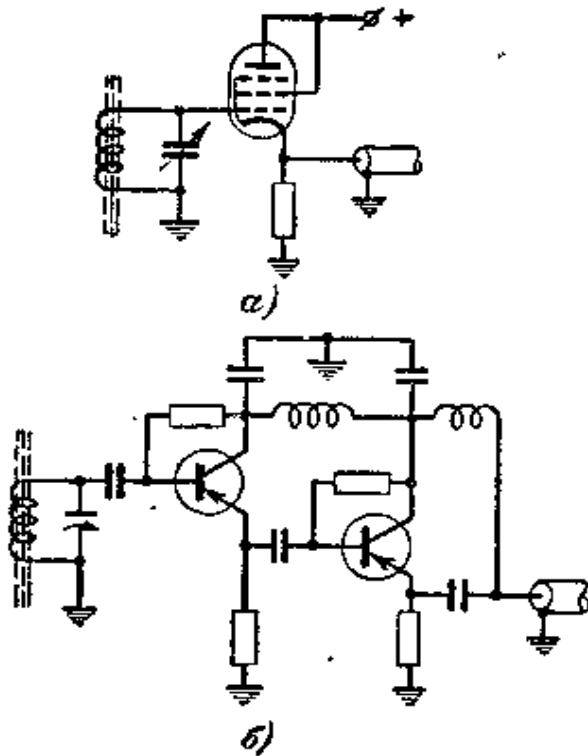


图 19 机外铁氧体天线的连接电路
(使用电缆)

a—电子管电路；b—两级发射极输出器

入回路分路以及波段复盖小。

下所产生的变化是有益的。图 20 上给出 $n-p$ 结的电容与加在二极管上的直流电压间的关系曲线。这个特性使有可能应用半导体器件作为小型接收机的回路调谐元件，因为空气可变电容器的尺寸较大，会大大影响接收机的轮廓尺寸。型号为 ДГ-1124、ДГ-1127 的锗二极管可以用作调谐元件（图 21），例如，在超短波段中可以实现这种方式的天线调谐。这种电路的缺点是，结电阻使输入回路分路以及波段复盖小。

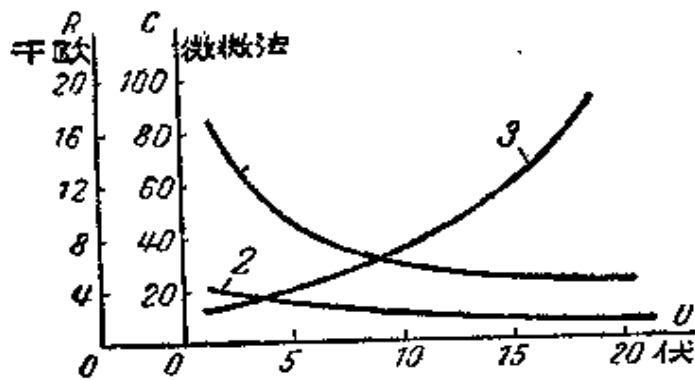


图 20 用作铁氧体天线调谐元件的半导体器件的集电结电容的变化

1—晶体管 Д6 Б 的集电结电容；2—晶体二极管 ДГ-1127 的集电结电容；3—晶体二极管 ДГ-1127 的结电阻；

6. 鉄氧体接收天綫的結構計算

計算天綫的原始数据是：鉄心参数（它的起始导磁率和它的尺寸）、輸入电路的电气数据以及在計算超外差接收机时的本机振荡器迴路参数。計算的內容包括：匝数的确定和天綫綫圈結構的选择，天綫綫圈在鉄心上的位置的选择，連接电路的选定，天綫迴路与接收机輸入端耦合量的計算，以及最后，算出天綫的有效高度和效率。

有时向天綫提出一些額外的要求，例如：提高輸入电路的选择性，取得“清晰的”方向图（具有明确的接收零点），制造和調諧簡單，天綫的效率最高等等，这些要求迫使我們必須改变标准設計。

天綫綫圈的匝数首先根据輸入迴路允許的电感量来决定。如果知道頻带和接收机自身的結構性能（輸入迴路与其它迴路的跟踪电路、調諧电容器的电容量和輸入端其它元件的电容量），則綫圈电感量可按式求得

$$L_{\kappa} = \frac{2.53 \cdot 10^4}{f_{\text{MAGC}}^2 \cdot C_{\text{MKR}}}$$

式中 C_{MKR} 是調諧电容器的最小电容量和布綫电容量等的总和。这公式中电感量以微亨計算，电容量以微微法計算，而頻率用兆赫計算。

在計算匝数之前必須选好一定的綫圈結構。它根据天綫的頻带和用途来选择。密繞的单段天綫綫圈最簡單。这时，适宜

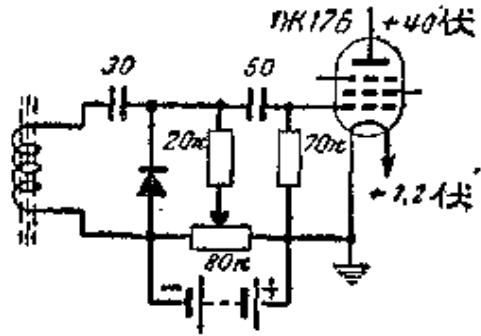


图 21 采用 Π Г- Π 27 的 n-p 結电容以調諧鉄氧体天綫

用 Б. И. 里亚沙諾夫提出的方法（見《Электросвязь》，1958年，第2期）來計算匝數。按照這種計算方法，

$$w = \sqrt{\frac{L_{\kappa}}{L' D_{\kappa} \mu_{\kappa}}}$$

係數 L' 是繞圈形狀係數（类似于前面提到的係數 Φ ），它和繞圈長度與繞圈直徑的比例有關（圖22）。決定係數 μ_{κ} 最複雜。它由四個經驗係數 μ_e, m_L, p_L, q_L 的乘積算出，即

$$\mu_{\kappa} = \mu_e m_L p_L q_L$$

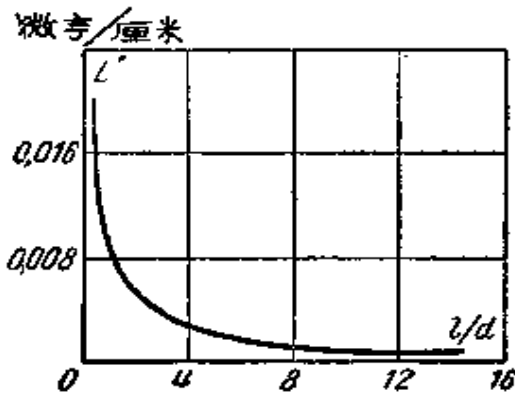


圖 22 繞圈尺寸為各種比值下，繞圈形狀係數 L' 的變化

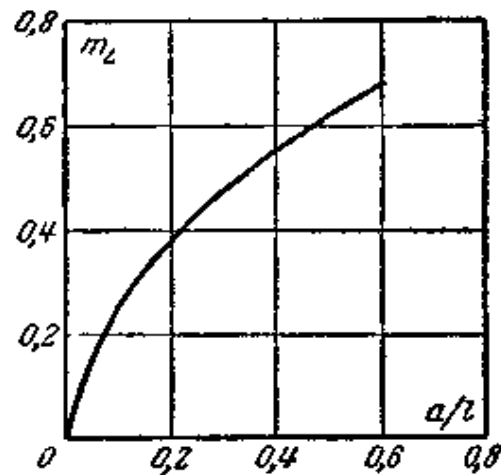


圖 23 係數 m_L 與繞圈長度和鐵心長度比值 a/l 的關係

係數 m_L 決定於繞圈長度與鐵心長度的比例（圖23），而 p_L 要看繞圈在棒上的位置來確定（圖24），係數 q_L 是鐵心直徑平方與繞圈直徑的比值，最後， μ_e 是鐵心的有效導磁率。由計算過程看到：為了決定係數 m_L, p_L 和 L' ，首先必須給出繞圈長度，而這長度取決於導線直徑和匝數的乘積，以致匝數成了根本的計算目標。這似乎是矛盾的，但是，如果在進行這些計算時具備某些經驗，那麼這種視在的矛盾是容易克服的。為

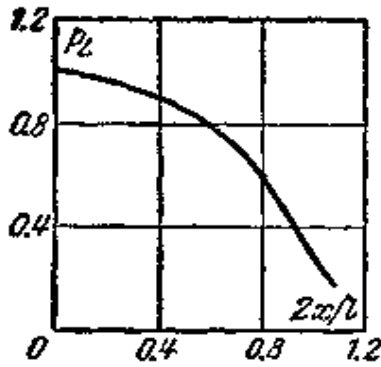


图 24 系数 P_L 与线圈在棒上所处位置的关系

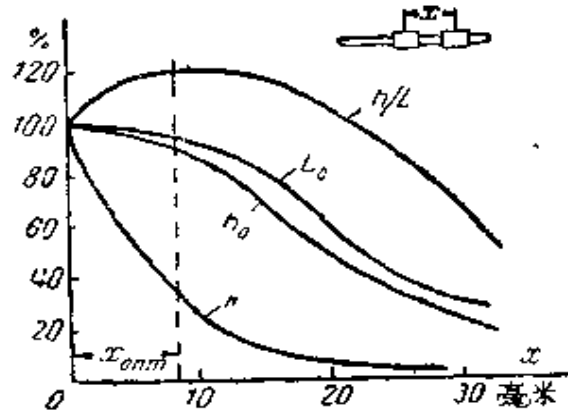


图 25 关于线圈段最合适位置的计算 (天线参数与线圈段间距离 x 的关系)

設計簡捷起見，在表 3 中列出一些电子管輸入的接收机中的中波波段和长波波段鉄氧体天綫的典型数据。

表 3

鉄心直径 d , 毫米	匝 数 w		电 感 量, 毫 亨	
	中 波	长 波	中 波	长 波
8	60—80	100—150	0.2—0.3	1—1.5
10	35—50	80—120	0.2—0.3	1—1.5
15	20—25	60—80	0.2—0.3	1—1.5

如果为了使天綫有效高度有所提高，而綫圈不是密繞的，那么，由于必須考虑綫匝間的非完全耦合，匝数的計算便更为复杂。 $\mu_0=900$ 、 $l=480$ 毫米和 $d=20$ 毫米的长波天綫綫圈两段間最佳距离的选择可以作为这种計算的例子。

試驗証明，两段間耦合系数 K 与段間距离 x 有如图 25 所示的关系，即按指数規律 $K=e^{0.163x}$ 变化。

設 L_0 为每匝的电感量， h_0 为每匝的有效高度， K 为对称

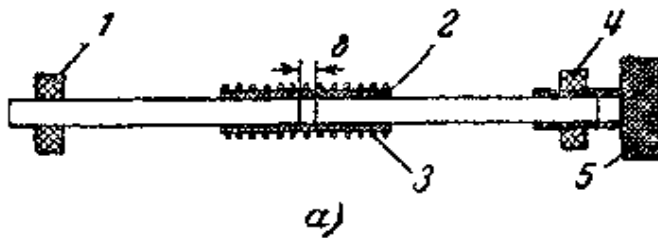
分布的两个线圈之间的耦合系数， w 为一个线圈段的匝数。

于是天线的有效高度

$$h = h_{011} + h_{012} + \dots + h_{01n} + h_{021} + h_{022} + \dots + h_{02n} = 2 \sum_{h=1}^w h_0 \textcircled{1}$$

而天线线圈的电感量

$$L = 2w^2 L_0 (1 + K_{cp}),$$



K_{cp} 是两线圈段之间的平均耦合系数。

h/L 比值表明两个线圈段之间耦合量的选择合适到怎样的程度。由图 25 的曲线可以看到，就所探讨的情况而论，距离 $x=8$ 毫米是最佳的。在这个距离上，有效高度的得益达到 20%。

在分布绕法中，尤其在递增绕法(匝距逐渐增大)

图 26 有可调空气隙的天线
a—天线装置 (1—支撑物；2—线圈架；3—线圈；4—有螺纹孔的支撑物；5—有传动螺纹的凸缘)；
b—空气隙 δ 改变时电感量的变化曲线

① 原公式为 $h = h_{01} + h_{02} + \dots = 2 \sum_1^n h_0$ 欠明确，且求和符号 Σ 上方的 n 应写成线圈段的匝数 w ——译注。

中，比值 h/L 要比分段繞圈增加5—8%。

作鐵氧体天綫的結構設計時，必須考慮到天綫繞圈裝入接收機以後應當能調整它的電感量。

常見的調整方法是沿棒移動天綫繞圈，它可以使電感量改變20%。這種調整前面已經談到過 (§ 3)。調整天綫電感量或者在某個頻帶內調諧天綫的另一種方法是在兩個半節鐵心之間留出一個可調的空氣隙 (圖26, a)。圖26, b 上示出天綫繞圈的電感量與鐵心 (由 Φ -20 鐵氧体制成) 兩半節間的空氣隙 δ 之間的關係。採用導磁率大的鐵氧体可以獲得大的頻率復蓋。

還有一種調整天綫電感量的方法，即改變天綫繞圈段之間的距離 (圖27)。電感量的這種調整法由於電感量的變化範圍很大，可以用作鐵氧体天綫的主要調整方法，即

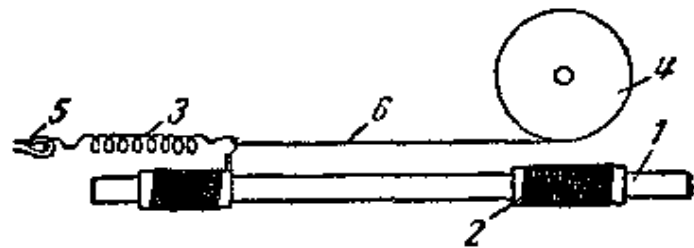


圖 27 用改變繞圈段之間的距離來調諧天綫的裝置

1—鐵心；2—繞圈段；3—彈簧；4—滑輪；
5—固定支點；6—拉綫

這種調諧方法不用可變電容器便能調諧。

鐵氧体天綫裝置應該儘可能靠近輸入級，以減小接綫長度，亦即減小寄生電容。天綫附近不應有短路的繞環，它會削弱磁場。天綫支撐物要加上軟的墊圈，防止過度的機械應力。為避免固有電容增大，天綫離底座的距離不應小於3厘米。鐵氧体天綫應該儘可能遠離電源變壓器、輸出變壓器以及電動揚聲器。

7. 提高鉄氧体接收天綫效率的方法

比較鉄氧体接收天綫的計算表明，天綫的效率与长1—2米的天綫棒相仿。在許多情況下，这样的效率是不够的。

增加效率的最簡便的途徑是增大鉄心的几何尺寸。这种情况下的得益是由于鉄心直径增大时天綫綫圈的电感量与鉄心直径增大量的一次方成正比地增长，而有效高度却与直径的平方成正比。这种方法的缺点是鉄心的尺寸和重量增大了，因为直径增大后长度也必須随着增长，以便鉄心的有效导磁率保持不变。換句話說，直径的增大导致鉄心体积急剧增大，因此它的重量也增加了（鉄氧体的比重約为5克/厘米³）。

选择合适直径的鉄心有时会遇到困难。为了这个目的，将

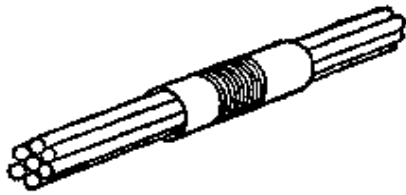


图 28 用一束棒組成鉄心的鉄氧体天綫

許多圆柱棒合成一束可以克服困难。此时，如果比例 l/d 足够大，那么这种鉄心的有效横截面面积（它决定有效高度）增加到 $Z^{0.49}$ 倍，其中 Z 为束内棒的数目，而电感量增加到 $Z^{0.38}$ 倍。圈 28 表示由圆柱棒束制成的天綫鉄心的

結構。

增大鉄氧体接收天綫有效高度的另一个方法是将几个鉄氧体天綫串联或并联起来。几个天綫串联連接的想法近似于把天綫綫圈分段的想法。实际上，如果将天綫綫圈分成两部分并将这两部分安置在两个棒上使之串联連接，那么，我們几乎使天綫电感量减小了一半，因为当一部分与另一部分分开 2—3 厘米时天綫两部分間的耦合已經小得可以忽略不計。这样，在密繞的情形下可把两个綫圈的总匝数增加到原匝数的 $\sqrt{2}$ 倍。如果

将天綫綫圈这样剖分后安置在三个棒上，那么匝数可以增加为原匝数的 $\sqrt{3}$ 倍；如剖分为四，那么匝数可增加为2倍，等等。但是应该指出，当棒的数目增加时，它們之間的耦合也随着增加，所以繞在 n 根棒上的天綫綫圈的电感量并不减小到 n 分之一，因为每一个綫圈的电感量等于：

$$\frac{L_{06m}}{n}(1 + K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_{n-1}) \textcircled{1}.$$

各个天綫串联連接时，棒应当并排，天綫的各个綫圈不要头对头尾对尾連接，而应该将各个綫圈按同一方式繞制并把綫組首尾依次連接起来（图29）。各个天綫綫圈并联連接能得到同样良好的結果。当两个并联連接的天綫綫圈之間不存在耦合或者耦合很小时，这种天綫的电感量减小一半，这同样可以将匝数增加到原匝数的 $\sqrt{2}$ 倍来弥补。与串联連接相类似，当棒的数目很多时就有可能增加匝数，因而增加了天綫效率。这儿除上述因素以外，还因为鉄氧体天綫的固有电容量将迅速地增大，所以限制了棒数的增加。天綫綫圈并联連接的超短波波段鉄氧体天綫的照片如图30所示。

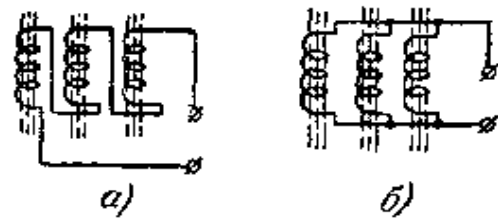


图 29 将各单独天綫連接起来的电路
a—串联連接；b—并联連接

除开这些增加效率的方法以外，还有另外一些方法。它們的实质可以从靜磁学的概念，即从鉄氧体具有“拉近”、“聚集”和“导引”磁力綫的特性出发加以簡要的解释。既能控制电磁場建立的外部磁通又能控制天綫綫圈建立的內部磁通是鉄氧体天

① L_{06m} 表示各个綫圈間不存在耦合时所有綫圈电感量的总和。 K_1, K_2, \dots, K_n 表示某一个綫圈与其它各个綫圈之間的耦合系数——譯注。

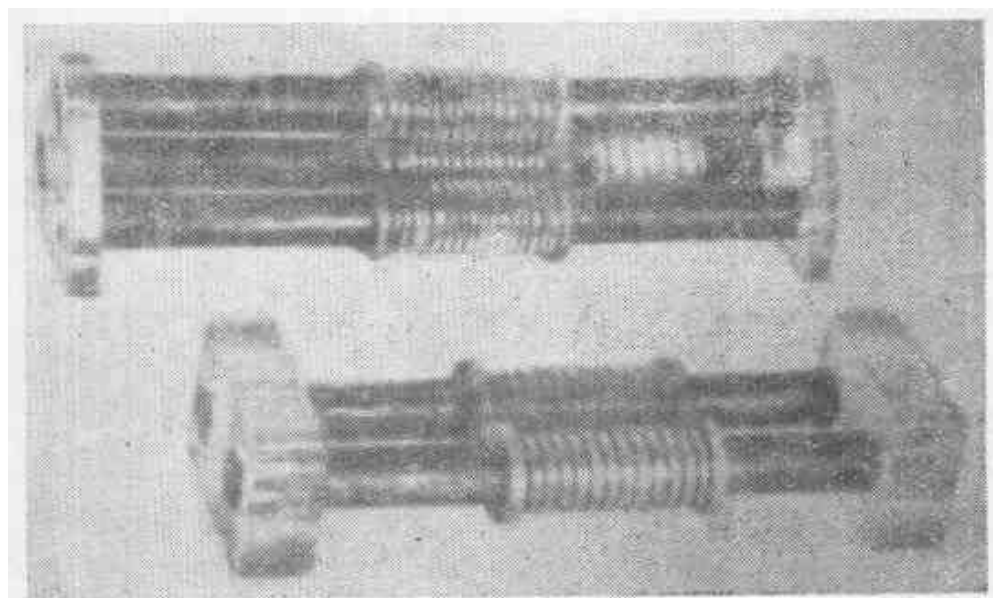


图 30 超短波铁氧体天线的外观

线特有的大有前途的特性。

铁氧体天线的这些特性我们已经在前面讲过。例如在 Z 形铁心的天线中，铁心的复杂而曲折的形状并不改变天线特性。在用作飞机上的半罗盘天线的铁氧体天线中也观察到同样的规律性。这时天线安装在飞机机身（通常是金属的）的凹坑中，但不会降低它的接收性能。

要了解提高铁氧体天线效率的方法应该从上述的原理出发，即铁氧体天线的效率正比于两个磁通——外磁场建立的磁通和天线线圈建立的磁通——之间的相互作用（相互耦合）。它的正确性可以用上面分析过的提高效率的方法为例来加以说明。例如，当棒的直径增大时，外磁场的磁通与直径的平方成正比地增加，而同时天线线圈（为保持电感量不变而减少了匝数）的磁通增加得较慢。相反，当铁氧体天线并联连接时，我们有可能增加棒上的匝数，即增加天线线圈的磁通而保持外磁场的磁通不变。在总结两种本质上不同的手段时，我们看到接

收效应均增加。

在制作铁氧体天线时，设计师应该竭尽全力增加棒内外部场的磁通而使天线线圈内部磁通增加最少（为了不增大线圈电感量），以增加天线的接收效应。

欲增加外部场在天线铁心中的磁通，可以通过选择合适的铁心形状或挑选合适的铁心材料来达到。

作为例子，我们来研究一种铁氧体天线，它的铁心具有不同的横截面，如图 31 所示。对导磁率小的铁氧体进行的测量表明，如果离铁心两端的距离为全长三分之一的两段铁心的直径增大一倍而中间部分的直径依旧不变，那么天线的有效高度将增大 1.5—2 倍，而这时天线线圈的电感量总共只增加 20—30%。举出变截面铁心的上述尺寸关系只不过作为一个例子而已，或许，它并不能完全说明依靠所建议的方法能够取得的最大好处。

增加磁通的另一种途径是采用具有不同磁特性的、由几部分组成的铁心（图 31, б）。例如，为了聚集外部场的磁通，铁心的大部分用导磁率高的材料制成，而铁心套有天线线圈的那个部分（它的材料将决定天线品质因数）可以用导磁率小、损耗小的铁氧体制成。

在铁心中空出一个非磁性的间隙是这个方法的某种变种。

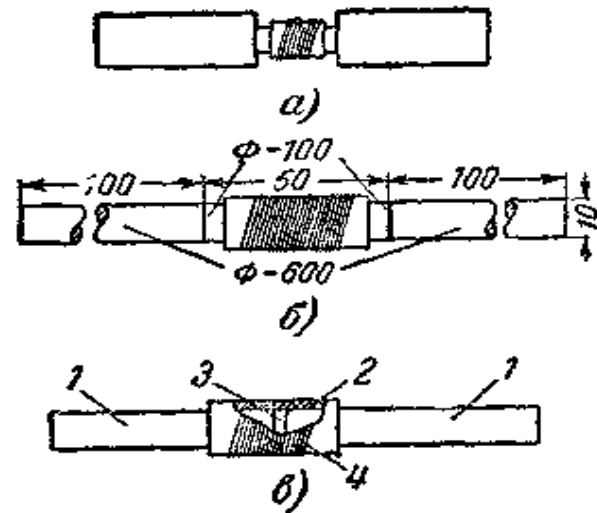


图 31 横截面和导磁率均不同的铁氧体天线
 а—横截面不同的天线；б—拼接铁心的短波天线；в—有垫片的超短波天线（1—铁心，2—线架，3—聚苯乙烯垫片，4—线圈）

在这种结构中天线铁心由两个半段铁心组成，它们用聚苯乙烯衬垫物（垫圈）固定，并用环氧树脂粘在铁心上（图31，B）。加入这种垫圈使得当天线线圈的匝数增加20%时，线圈的品质因数将增为1.5倍。垫圈厚度取1—1.5毫米左右。

当然，可以把这两种方法结合起来，即用几个特性不相同的磁性材料制成的不同部分装配成变截面的铁心。把它们连接起来以前，应该将接合表面仔细地磨光。必须考虑到，铁氧体表面不紧密粘合将减小它的导磁率。导磁率的这种减小可以用下式加以考虑

$$\mu_a = \frac{\mu_e}{r(\mu_e - 1) + 1},$$

式中 μ_2 ——有空气隙的铁心的导磁率；

r ——空气隙长度与铁心总长度的比值。

第三章 铁氧体天线特性的测量方法

8. 测量的原理和方法

在设计铁氧体天线的过程中常常有必要检查天线的参数——天线线圈的电感量、品质因数和有效高度。

这种必要性不仅是因为设计方法不完善引起的，而且由于制造工艺复杂造成的铁氧体特性的不稳定、自然老化或前面已经谈及的改变铁氧体特性的因素的作用引起的。只要提一提如下的事实便足以说明：型号和生产日期相同的铁氧体铁心，其导磁率的差异可以达到20%。

在以增加天线效率为目的之试验中，测量显得特别需要，这时，试验将告诉我们天线结构上这种或那种改变到底有多大好

处。

設計鉄氧体天綫时最常用的測量仪表是品质因数測量仪或 Q 表。苏联工业既生产短波 Q 表 (KB-1 型) 也生产超短波 Q 表 (VK-1 型)。这两种仪表可以測定天綫綫圈的电感量和品质因数, 也可以进行某些輔助的測量, 其中包括測定天綫綫圈的固有电容量或找出天綫迴路的固有頻率。測定鉄氧体天綫綫圈固有电容量的方法与測定普通綫圈固有电容量的方法相同。为了測定天綫迴路的固有頻率 (例如, 制造鉄氧体电视天綫时这是必須的), 在 VK-1 型超短波 Q 表的«电感» 端头上接一个直径为 4—5 厘米的小綫环并且用电容器将 Q 表調諧到接近被測的頻率上。然后把被測鉄氧体天綫 (更准确地說是天綫迴路) 拿到离綫环 3—4 厘米的地方。此时, 如果 Q 表的調諧頻率发生改变則天綫迴路的固有頻率与 Q 表的頻率不一致。如果頻率一致, 則 Q 表迴路的調諧保持不变 (这时迴路的 Q 值略有下降)。

用 Q 表还可以大体上查明未知的鉄氧体的型号。为此需要測定它的頻率极限。頻率极限指这样的調諧頻率, 如越过它, 則品质因数变坏, 降到 10 左右。然后, 根据这个頻率, 利用表 1 可以查得未知的鉄氧体的型号。进行这种測量时必须記住, 天綫綫圈的品质因数与匝数有关, 因而天綫綫圈应该具有相应于給定頻带的匝数 (参看表 3)。如果应用前章已闡述过的方法, 即确定了电感量并知道綫圈的匝数及尺寸; 依次先求得 μ_r , 然后求出 μ_0 , 那么可以更精确地确定所測棒的导磁率。

如果利用測定普通綫圈間互感的方法, 借助于 Q 表还可以測定并联的天綫之間或串联的天綫之間的耦合量。

有时, 特別在超短波波段中, 制造鉄氧体天綫时应该检查一下所設計的天綫的工作頻率与固有諧振頻率相差多大。假若

利用Q表去測定某几个頻率上天綫的电感量，就很容易发现与固有諧振頻率接近的情形。当頻率增高时，如果所研究的天綫的电感量开始剧增，那么知道天綫頻率接近固有諧振頻率了，應該把匝数减少。天綫綫圈的电感量可以用普通电桥进行測量。但此时应当考虑到大多数电感測量仪供在較低的頻率下工作，因此根据它的指示很难判断被测天綫中的損耗。

9. 在标准場中的測量

上述的測量不能直接回答所設計的天綫的效率如何的問題。如果知道接收处的場强和天綫輸出端的电压或者接收机輸出端的电压（接收机放大量为已知），便能够回答這個問題。由这些数据通过計算，可以大致准确地算出天綫的有效高度。

場强的測量需要相当复杂的設備，此外，由于干扰，經常不可能进行測量。

然而，可以人工地建立快速和直接測量鉄氧体天綫有效高度的条件。用标准場（赫尔姆霍茨場）試驗台就能建立这种条件。在标准場中用簡單的測量仪表（例如热偶毫安表）能够測

量出場的电平。試驗台产生的場是均匀的，此外，它可以产生相当大的場强，使得用普通微安表便能够測出天綫的有效高度。

标准場試驗台的外貌示于图 32 上。用环状天綫（两个平行安放的綫环）作为場源，它与高频发生器的对称輸出端連接。

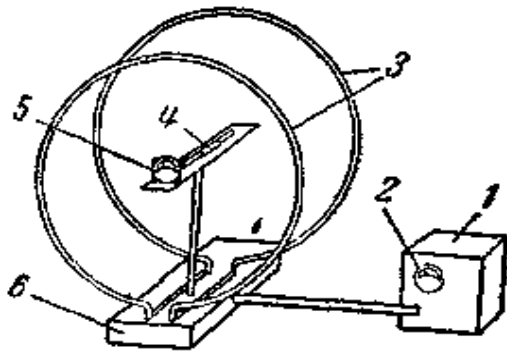


图 32 測量鉄氧体天綫的标准場試驗台的外貌

- 1—发生器；2—毫安表；3—綫环；
- 4—鉄氧体天綫；5—指示器；6—基座

电場强度与綫环中电流有如下的关系式

$$E = 86 \pi \frac{1}{R} I,$$

式中 I ——供給两个綫环的总电流，单位安；

R ——綫环的半径，单位米。

在这个公式中电場强度用伏/米表示。当綫环的半径等于 27.5 厘米，电流等于 1.02 毫安时，場强为 1 伏/米。两綫环間距离应该取得等于 25—30 厘米，以获得場的最大均匀性。綫环可以用黄銅管制成。

从結構的观点来看，以不閉合的屏蔽綫框作为場源的仪器的电路比較合适。屏蔽綫框可以由不对称发生器向它饋电，而不必担心操作人員和邻近物体对測量結果的影响。采用不閉合的綫框可以監視发生器的負載，并且，由于这种情况下供給綫框的电流增大了，因此便于进行測量。不閉合的屏蔽綫框宜于用射頻电纜制成（图 33）。为此取一段比綫框周长 $l (l = 2 \pi R)$

略长一些的 PK-1 型电纜，将它两个端头中的一个端头的保护层剥去 3—4 厘米。然后将銅絲織成的电纜的防护編織套拆散，擰成两股綫束，再剥去內导体的絕緣物，鍍上錫。在离終端的距离等于綫框周长的地方剥去防护編織套外面的保护层并鍍上錫。此后，在剥去了絕緣物

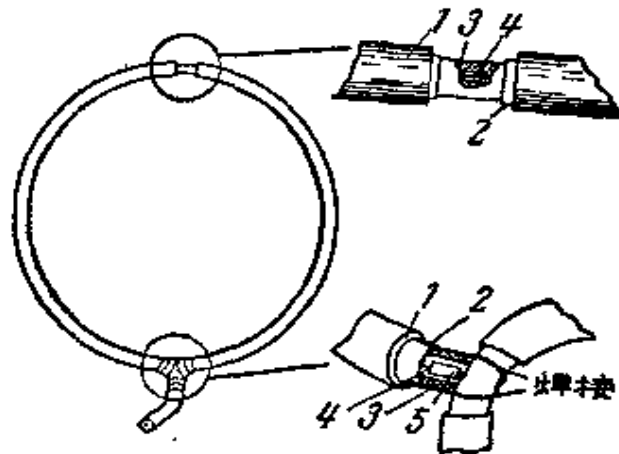


图 33 标准場試驗台中用射頻电纜制成的屏蔽綫框

1—保护层；2—防护編織套；3—絕緣物；
4—电纜的心綫；5—电阻

的那个电缆端头的内导体上焊接一只75欧的小型电阻，而将电阻的另一个端头焊在电缆剥了保护层并镀了锡的地方。就在这焊了电阻的防护编织套处把电缆端头上拆散防护编织套擰成的两股线束焊上。连接处纏上绝缘带。

然后，在依上述方法焊成线框的电缆中部把保护层和防护编织套剥去1厘米。将如此制成的两个线框并联连接并安装起来，使它们之间的距离等于线框的半径。为了刚性好，屏蔽线框应该固定在坚硬的基座上（由胶纸板或胶合板制成）。线框的半径应当根据工作波段来选择。在中波和长波波段取它等于

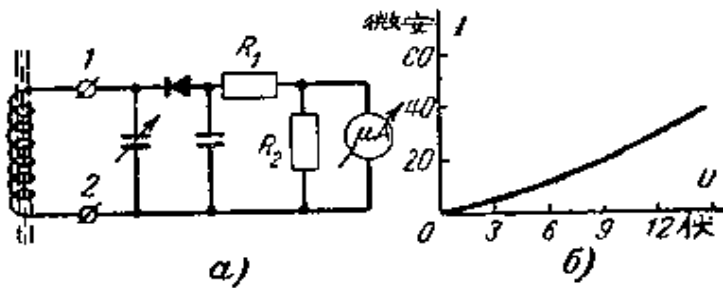


图 34 测定铁氧体天线有效高度的指示器电路
(a) 和指示器的典型特性(b)

27.5厘米是恰当的，在超短波波段不得大于20厘米。

为了建立约为1伏/米的场强，发射机功率可以不超过0.1—0.2瓦。高频振荡器可以做成两级小功率发射机的形式。

当电场强时，可以用普通晶体检波器和直流微安表组成简单指示器来测量铁氧体天线的效率。这种指示器的电路示于图34。置于标准场中的铁氧体天线可用微调电容器来调谐。检波器负载数值（电阻 R_1 的数值）选得等于或稍大于电子管的输入电阻或输入端其它元件的输入电阻。这儿 R_1 的数值远大于 R_2 的数值，而电阻 R_2 小于微安表的电阻。

为测量方便起见，微安表装在装有线框的同一基座上。

10. 有效高度和天綫效率的測量方法

着手直接測量之前應該确信（測量饋送給綫框的電流并計算電場強度）場的數值足以進行測量。如欲直接測量有效高度（天綫未調諧），電場強度的數值不得低於 20 伏/米在這種測量中 M-494 或 M-24 型微安表的電阻直接作為檢波器的負載。為便捷計，在測量之前必須繪出指示器的檢波特性的。為此，在天綫的輸出端（即圖 34 上的接綫端頭 1 和 2）接上很靈敏的 BЛY 型或 BKC-7 型電子管伏特計，測出微安表的電流與天綫產生的電壓之間的關係。然後着手直接測量有效高度。天綫安置於裝在絕緣材料（有機玻璃、膠紙板）做成的基座上的兩綫框的中間，使棒的軸綫與穿過綫框中心的軸綫相重合。

為了把鐵氧體天綫調諧到各種頻率，採用空氣電容器（它的動片應該轉動方便），其電容量變化的範圍應與接收機中所採用的電容器相同。在這種情況下，負載電阻選取 100—150 千歐左右，而微安表接負載的一部分電阻，這電阻的數值為微安表電阻的 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ 。

超短波波段測量用的指示器的典型特性如圖 34, 6 所示。這兒兩極管的型號是 Д-2 Г，負載電阻 $R_1=130$ 千歐，旁路電容器的電容量等於 68 微微法，電阻 $R_2=200$ 歐。檢波特性的應在天綫迴路調諧時繪出。

我們提出幾點有益於試驗台上進行測量的建議。調諧天綫時，準確地調諧到諧振點上是極重要的。為此，應該用電容器實現粗調，然後改變發生器頻率使微安表指針達到最大偏轉，以實現準確的調諧。

在兩綫框間的空間中不應該有金屬零件，否則它會使場畸變。測量時操作人員應該站在離試驗台不小於半米的地方。他

的視野應該及到两个仪表——測量綫框电流的毫安表和指示器的微安表。必須尽可能使場的电平維持恒定。

除直接測量鉄氧体天綫的有效高度和效率外，在試驗台上还能够进行天綫迴路品质因数的整机測量（有时連同电子器件——电子管或晶体管一起測量）。为此，在准确調諧后測定迴路的通頻带。通頻带是这样两个頻率的差数，在这两个頻率上迴路电压下降到最大值的0.7。然后用下式計算迴路品质因数：

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f},$$

式中 f_0 ——天綫的准确調諧頻率，单位千赫；

$2\Delta f$ ——迴路通頻带，单位千赫。

第四章 超短波波段的鉄氧体天綫和 采用鉄氧体的天綫电路的元件

11. 室內电视鉄氧体天綫

电视不仅在現代生活中已經司空見慣，而且在当今的科学和技术中也获得了广泛的应用。电视可以監視那些直接观察时有危险或者不太方便的生产过程以及其它过程。目前，电视广泛地应用于工业，在运输上观察車輛編組，用于有爆炸危险的作业、冶金和医学。大多数工业电视設備中，信号的传送距离不远，所以接收設備及其天綫應該非常小巧玲瓏。

普通电视接收机中采用机內天綫也有好处。至于室內电视天綫的采用，不妨与无线电广播接收机接收天綫的历史相类比。接收机发展的初期，由于它的灵敏度低，且无线电发射台的功率不大，所以无线电接收天綫要豎在屋頂上或者挂在杆子

上和树上等等。继而过渡到室内天线，它是架设在房间的墙壁之间的一段导线。最后，即目前阶段，制成的接收机中装有铁氧体天线。

类比后可以說，室内电视天线处于自身发展的第二阶段。当前使用的室内电视天线是偶极天线，或由导体（棒）制成的V形天线，它用馈线和接收机连接起来。但是，由于超短波传播的特点，即使房间里有足够的场强，这种天线也不一定能够保证高质量地接收电视广播。原因是这种情况下场有干涉特性，它是由振幅和相位都不稳定的反射波和入射波合成的结果，这样便不能充分地利用天线的有效长度了。此外室内电视天线很少采用对称的，天线实际上是不对称的，因此易受干扰和垂直极化波的作用。这种天线实际上是没有方向性的。

采用铁氧体天线可以克服普通室内天线的大部分缺点。实际上，由于铁氧体天线非常小巧，不致于影响房间的布置；它还可以直接安装在电视接收机内；当接收水平极化波时，铁氧体天线是水平全向的，因而不必将它按着一定方向装置以及它的对称性很高等等。

不过，在解决是否宜于采用这种天线的問題时，主要看它的效率与水平偶极天线相比是否够高。在计算铁氧体电视天线的效率时，应当考虑到为了使图象逼真地再现，天线必须有5—6兆赫宽的通频带。通频带宽度与输入迴路的品质因数成反比，所以要求的频带越宽，那么品质因数就越低，结果天线的效率也越低。

为了展宽通频带宽度，可以在输入迴路上并联3—4千欧（对于第一电视频道）或5—6千欧（对于第三电视频道）的分流电阻。这时迴路的品质因数不超过10—12。目前电视接收机中使用的高频放大电子管6H3Π和6Ж4的输入电阻与分流

电阻的数值相仿，因此可以把天綫和輸入电子管直接相連。这种情况下的缺点是輸入迴路的頻率特性还不够平坦（图 35 曲线 1），并且整个說来天綫的效率較低。

采用耦合天綫可以得到較好的效果。計算表明，当两个单迴路間作紧耦合时，如果各迴路品质因数为25，通頻帶宽度可以达到 4 兆赫左右。采用耦合迴路时的电压增益比仅仅并联分

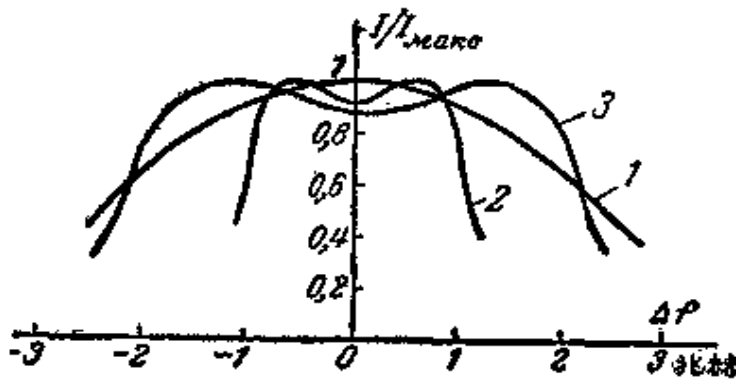


图 35 頻率特性

1—单迴路；2—耦合迴路， $Q=50$ ；3—耦合迴路， $Q=25$

流电阻的单迴路大一倍。此外，由于两个迴路都是有源迴路，即外界場在每个迴路中都要感应出电动势，因此增益还要高得多。这时天綫通頻帶宽度限制在 4 兆赫，迴路諧振特性曲线两端又比較陡峭（图35曲线3），对电视图象的抗干扰将有好处。

設計鉄氧体电视天綫的第二个困难在于从一个电视頻道变换到另一个电视頻道时，必須把天綫重新調諧。如果頻道数目不多（二—三个頻道），那么可以装几个单独的天綫，依靠接入不同的天綫来实现天綫的調諧，这比无綫电接收机中采用换接綫圈抽头的方法优越得多。

图36示出双頻道鉄氧体室内电视天綫的外观。它的电路如图37所示。这种天綫結構上由两套单独的天綫（第一和第三頻道的天綫）組成，它們的引綫端头可以接在轉換开关的接片上，或者接到两个阴极輸出器上。这两个阴极輸出器的輸出端一同与电视接收机相連，当需要使用两套天綫中的某一套时，

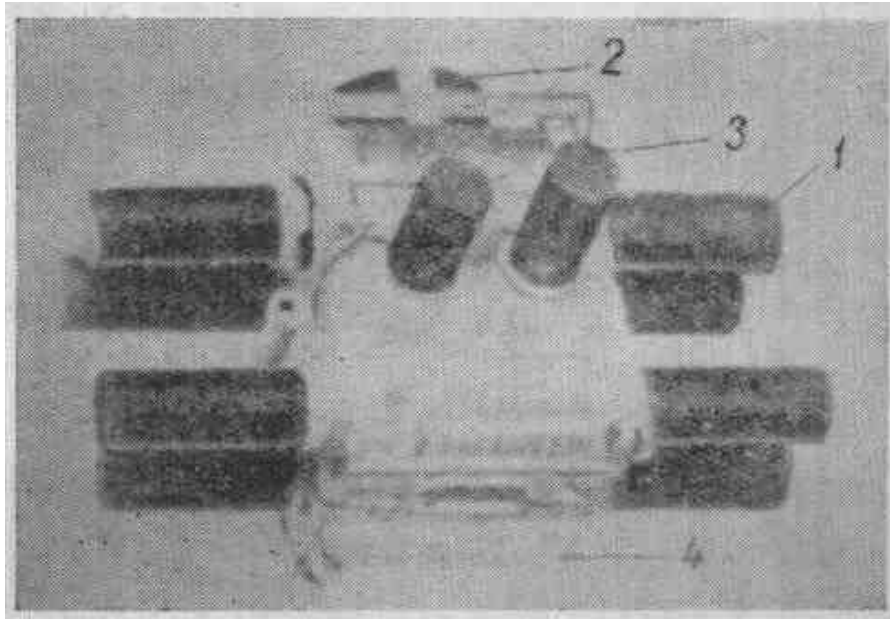


图 36 双频道室内铁氧体电视天线的外观
1—第一频道天线；2—转换开关；3—第三频道天线；4—支座

只要把这套天线的阴极输出器电源接通，而把另一阴极输出器的电源切断。

第一频道天线又由两对平行放置的铁氧体天线组成，它们之间依靠电感耦合起来。用借助于 Q 表微调电容器 C_1 (C_2) 的办法把每对天线调谐在 52.5 兆赫的频率上。每对天线之间的互感系数通过改变棒间的距离由实验方法来选定，棒间的距离一般不得超过 4 厘米。

第三频道的天线回路较简单，由单回路构成。这样做的原因首先是调谐的频率较高 ($f=76$ 兆赫)，其次是一些结构上的问题。

第一频道天线采用导磁率 $\mu_0=20$ 的铁氧体棒(型号 $\Phi-20$)。棒的尺寸可以不同，在我们的方案中，两对天线都采用长度为 100 毫米，直径为 10 毫米的铁氧体棒。第三频道天线可以采用导磁率等于 15 的铁氧体棒。这儿介绍的第三频道天线棒是由

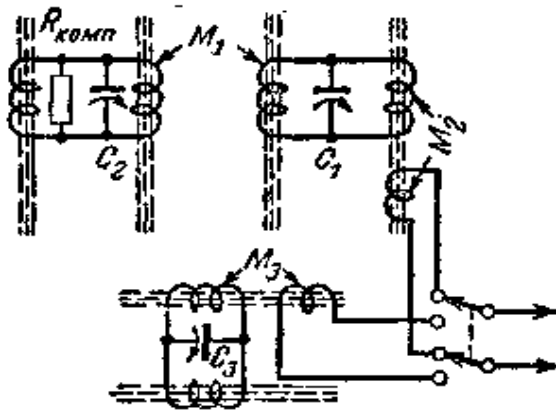


图 37 图 36 所示的铁氧体电视天线的电路图

的线圈绕在圆筒形线圈架上。线圈用有机玻璃做成，长度等于40毫米，内径为10毫米，外径为13毫米。每个线圈有14~15匝导线（直径为0.15—0.3毫米的耐久漆包线），用螺距递增法绕成，即线圈间螺距从线圈中间的1毫米向两端均匀地增大到5毫米。线圈嵌在深0.5毫米的槽纹中，线圈架上的槽纹用三角锉刀锉成。线圈端头用较粗的导线固定在线圈架的边缘上。

第三频道天线回路的线圈用类似的方法制成，不过得把线圈匝数减少到8~10匝。

天线支座的四块夹板用四个螺钉联接在一起，螺钉分布在四个角上，穿过支座所有的四块夹板。

天线回路的微调电容器可以固定在支座的内夹板上，这时必须在外夹板上钻一个孔，便于微调回路。必要时可与微调电容器（2~7微微法）串联一个固定电容器，以减少总的微调电容量。

设计电视铁氧体天线时最复杂的问题是天线接通电路的选择。图 37 所示的简单天线用耦合线圈把天线和输入电子管耦合起来。耦合线圈的两端引至频道转换开关的滚筒上。耦合线圈直接绕在天线的一根棒上，第一频道绕5~6匝，第三频道

两个半根 $\Phi-20$ 铁氧体棒中间用多聚苯乙烯（人造树脂）联接起来的（见图 31, e）。中间有1.5毫米间隙的天线，当 $f_0=73$ 兆赫时，品质因数大约等于40。

第一频道天线回路

繞 3~4 匝。

这种电路的缺点是必須重新改装电视接收机的输入电路，因为线圈应当直接連在輸入电子管的栅极上。这样，天綫得安装在电视接收机內，紧挨着輸入电子管。輸入电子管和連接导綫的电阻及分布电容接入天綫耦合迴路中的一个迴路上，将改变这个迴路的参数。因此，必須在不与电子管耦合的另一个迴路上事先并联附加的补偿电阻 $R_{\text{КОМП}}$ 和补偿电容器 C ，它們的数值要加以选择。

带有阴极輸出器或者天綫放大器的天綫，制造起来較复杂，但是使用較方便。它的优点是可以同軸电綫和电视接收机标准的不对称輸入端連接起来。而它的缺点是阴极輸出器要专用的供电电源。用省电电子管 1Ж17Б 装配或的这种天綫电路如图 38 所示。为簡便起见，两个頻道的天綫各自的特点在图上沒有用符号表示出来。頻道的轉換是将其中一个电子管的灯絲电压接通来实现的。由图 38, б 可以看到，天綫是按对称

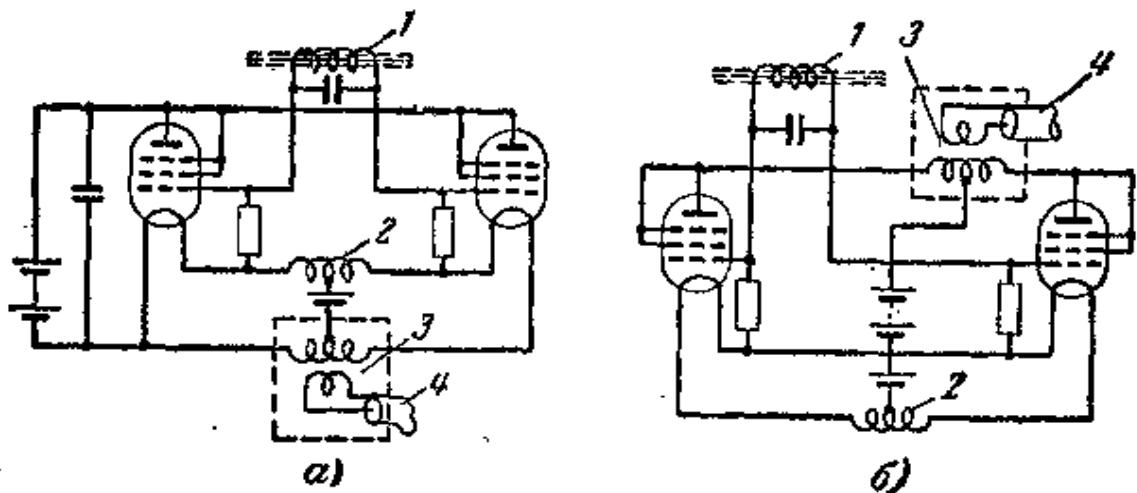


图 38 电视天綫电路

a—使用阴极輸出器的；б—使用天綫放大器的
1—天綫；2—高频扼流圈；3—变压器；4—鎮磁

电路连接的，这样对提高天綫效率說来具有許多优点，并且可以改善天綫的方向图。图 38, α 的电路采用的变压器后面将要专门介紹（見 § 15）。阴极輸出器的电源（ $U_{\text{H}}=1.2$ 伏， $U_{\text{a}}=40$ 伏）装在电视接收机內或者直接装在天綫下部。

大家知道，苏联的大多数电视中心发射水平极化波。本来，为了接收这种电波，鉄氧体天綫应该垂直安置。在室內除了出現水平极化的电磁場以外，也会出現垂直极化的电磁場，所以应该根据图象的质量通过試驗来选定鉄氧体天綫的合适位置。不过要注意，这并不是为了选择天綫的方向性，因为接收水平极化波时，鉄氧体天綫的水平方向性图是圓形的，即全向的。

带阴极輸出器的小巧的鉄氧体天綫装在室內很方便。特别是，可以摆在窗孔上，那儿的場强比房間里强得多。

試驗証明：即便最简单的鉄氧体天綫（不带阴极輸出器）在莫斯科市內，甚至在离市区 20 公里的地方都能滿意地接收信号。

12. 无綫电測向接收机天綫

无綫电測向竞赛在业余无綫电爱好者当中日益流行。竞赛的目的是利用定向作用的无綫电接收机在最短時間內找到隱蔽的发射机。

这种竞赛把运动素质（坚韧性、快速判断方位和迅速寻向发射机隱蔽地点的能力）与制作具有良好定向天綫的小型經濟接收机的能力成功地結合起来。这种天綫的結構通常是由最简单的定向天綫（环状天綫）和无方向性天綫（直立天綫）組合而成的。但是，在这种情况下为了使灵敏度高，天綫所需的尺寸往往比接收机尺寸大許多倍。采用鉄氧体天綫，則能使天綫尺

寸减小很多。这时可以轻易地得到天线的单方向性而不用任何附加的设备。

让我们较深入地研究一下采用复合天线（环状天线和直立天线）的情况下如何获得单方向图。由于环状天线的方向图是「8」字形的（图 39, б），所以把来自环状天线和直立天线的两个信号叠加起来便能得到单方向图（心脏线）（图 39, в），只

要两信号的电动势相等且相位一致。

后者要用人工的方法来建立，因为两信号的相位常差 $\pi/2$ 。用改变直立天线的有效高度的办法可使振幅相等，而人为的相移

则用选择两天线的耦合形式（常取电

感耦合）来获得。所述天线的缺点是工作频带窄，在各个工作频率上必须调整耦合度或信号振幅，否则方向图将变为无零点的心脏线，即没有零点的接收（图 39, з）或形成两个最小点（图 39, д）。

采用与测向员靠得足够近的铁氧体天线，可以“利用”测向员的躯体作为“再辐射器”（“直立天线”）。这时，铁氧体天线和无方向性天线（测向员的躯体）间的耦合不难由选择它们之间的适当距离来调整。在米波波段（8~10 米）这种天线的单方向性最好。

下面叙述 38~40 兆赫波段的测向接收机的铁氧体天线。

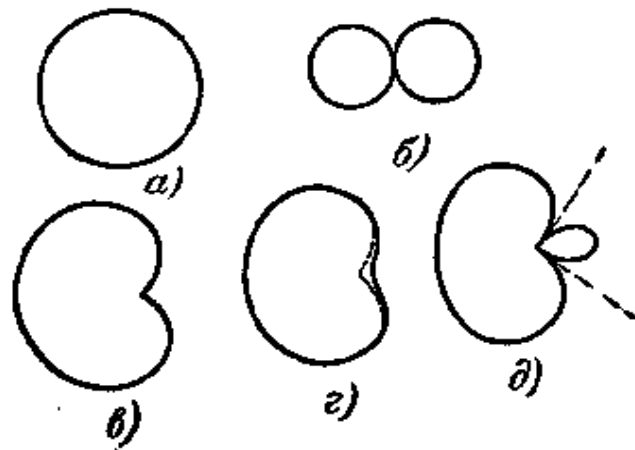


图 39 方向图

а—无方向性天线的方向图；б—环状天线的方向图；в—心脏线方向图；з—无零点心脏线方向图；д—有两个最小点的方向图

天綫裝在兩根直徑為 12 毫米、長度為 150 毫米的、 Φ -20 材料製成的鐵氧體棒上。棒上的天綫綫圈繞在聚苯乙烯綫架上，與電視天綫一樣，採用遞增匝距的繞法。天綫綫圈的電感約為 2 微亨。每個綫圈的匝數等於 15~16 匝。綫圈長 15 毫米。在這種接收機中宜採用電子管 1Ж17Б 或 1Ж18Б 作為輸入電子管，它們的輸入電容小而輸入電阻大。應該把鐵氧體天綫接成電容〔小容量（約 5—6 微微法）的隔離電容器〕耦合的電路。從天綫到電子管柵極的連接導線的長度應盡量短些，不要超過 20—30 毫米。接收機的輪廓尺寸最好做得小巧一些。接收機往往用皮帶系在測向員的胸前。

在米波波段採用這種天綫來測向時，有幾點有益的建議。如前面談過的，改變測向員的身體與天綫間的距離可以調整方向圖（更確切地說是它的單方向性）。對於機外天綫，當測向員與它的距離為 7~8 厘米時便得到最佳方向圖。應該注意到，當接近發射機時，即使在方向圖的“最小點”，即測向員的位置是背着所尋找的目標的時候，信號的強度也將增大到難以區別最小點和最大點的程度。在這種情況下，為了便於尋找目標，暫時減小接收機的靈敏度是恰當的。這一點很容易辦到，只要把中頻放大器的板極電壓減小。

在樹林中測向時，會出現一些困難，尤其在樹身高大的樹林中，那兒樹木與樹木的間距是 3~5 米。這時，電磁波的場具有干涉的特性。它既表現為信號強度的變化，又表現為欲用搜索接收機測向的發射機的方向的變更。例如，假若有高大的樹木位於測向員右方 3~4 米的地方，則無線電波傳來的方向偏向右邊；假若樹木位於測向員的背後，則方向圖的最小點“變鈍”。為了比較準確地測定方向，最好挑選開闊的地方，如林間通道或林間曠野，然後，在選擇好方向或確定了發射機方

位之后再轉移到下一个開關地。

13. 測定无綫电波传播方向的鉄氧体天綫

至此，我們虽然敘述了鉄氧体制成的各种天綫設備并談到它們的方向图，但我們的注意力是专注于天綫的效率，把天綫的方向性仅仅当作一个次要因素。

然而，在許多情況下，获得定向天綫的可能性漸漸地变成必須采用鉄氧体天綫的主要的和决定性的因素了。在导航（海上导航和空中导航）中，在低能见度的条件下飞行时，准确地測定无綫电波传来的方向和了解发射机的方位是非常重要的。由地球卫星开創的宇宙航行时代更加提高了对无綫电导航的兴趣。全世界千百万人怀着贊叹的心情凭視力观察着卫星的运行。采用能准确地測定卫星发射的无綫电波传来的方向的无綫电观察工具，扩大了科学观察的可能性并能提供有关卫星运行軌迹和无綫电波传播特性等等的宝贵資料。

此处将敘述測定頻率为 40 兆赫的无綫电波传来方向（方位）的最簡單的铁氧体天綫。

这种天綫必須采取特殊的措施預防方向图的畸变以及測向員本人对无綫电观察結果的影响（由于天綫效应）。

天綫效应通常指天綫的非完全对称而言，它表现为測定方位时出現誤差以及方向图的零点变得“模糊”，后者同样会使无綫电观察的結果变坏。

将天綫轉到信号强度最小的位置可以确定无綫电发射机的方位。天綫对磁子午綫方向來說的这个位置以度数标明在专用的角度标尺上。

天綫的电路如图 40 所示。天綫迴路是三个繞在三根互相平行的棒上的天綫綫圈。微調电容器接在两級阴极輸出器的輸

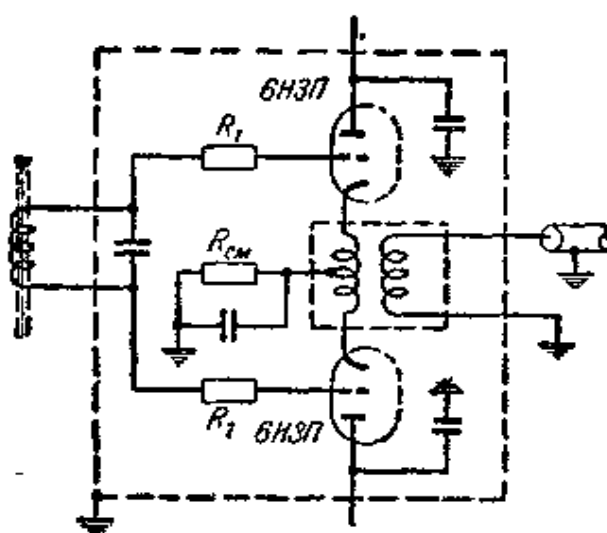


图 40 测定超短波段无线电波传来方向的铁氧体天线电路

入端上。在阴极输出器的阴极上接有对称的变压器，保证从对称电路过渡到不对称的电缆。变压器的结构留待下面再讲。可以采用双三极管 6H3Π 或电子管 1Ж17Б 作为阴极输出器的电子管。电缆接到普通接收机不对称的输入端。在三极管的栅极

电路中接入 УЛН 型小电阻，它的数值为几欧，以防止自激。

为了消除天线效应，把天线回路和输入电子管及变压器一道放在金属（铁片、黄铜）屏蔽壳内。屏蔽壳上有一条缝，它平行于天线棒并贯穿整个屏蔽壳。安装设备时应保证灯丝和板极电源电路对高频有最大的旁路。

天线的转动装置可以由金属制成，应该保证转动角度达到 200 度。转动装置中必须装有止挡，以防把电缆撑坏。

天线的选择应该着眼于获得最大天线效率。由直径为 25 毫米、导磁率 $\mu_0 = 20$ 的棒制成的天线给出很好的结果。当线圈的匝距为 10 毫米时，天线线圈的匝数等于 12 匝。

14. 电视天线的对称装置

最流行的电视天线是对称天线（水平偶极天线和它的变种）。电视机的输入端通常是不对称的。在大多数情况下采用不对称的同轴电缆把天线和电视机连接起来。当用这种电缆把对称的天线和电视机不对称的输入端直接相连时将产生能量损

耗，降低設備的靈敏度以及形成多次反射。為避免這種現象，採用最簡單的對稱裝置——U型管。

更完善的對稱裝置是“封閉杯”，它消除了U型管結構上的許多缺點。但是這兩種裝置都是窄頻帶的，當失諧超過主工作頻率的5%時，它們在很大程度上已失去自己的特性。

如果採用鐵氧體，則能製成更小巧的對稱裝置，這種裝置能夠在很寬的頻帶上十分簡單地實現調諧。

圖41是這種裝置的剖面圖。由圖上可以看見，饋綫做成螺綫狀放在杯內。這樣可以大大地減小裝置的尺寸。調諧頻率決定於螺綫的匝數和直徑。無鐵氧體的這種裝置中，螺綫由PK-1型電纜做成，有13匝，它的外徑等於杯的內徑（40毫米）。杯用篤拉鋁管制成。饋綫的心綫和外皮引到裝置的頂蓋上相應的接綫柱上。頂蓋用高頻電介質（聚苯乙烯、有機玻璃）製成。偶極天綫的引綫也固定在這些接綫柱上。杯子的金屬底蓋（黃銅）與杯子嚴密地接合起來。杯高等於250毫米。如果將螺綫外徑減小到25毫米而將匝數增為20匝，那麼對稱裝置可以調諧在75兆赫。

對稱裝置中採用鐵氧體鐵心來調諧時，使用起來更完善更方便。它與上述裝置不同之處是在螺綫內插入鐵氧體棒。只要用極簡單的機構使鐵氧體棒移動，它就能夠改變裝置的調諧頻率，而不必改變螺綫的尺寸。在螺綫內還放入導引套筒，以方便於移動鐵氧體棒。鐵氧體棒採用中波鐵氧體天綫棒（直徑為8毫米，長度為200毫米， $\mu_0=600$ ）插

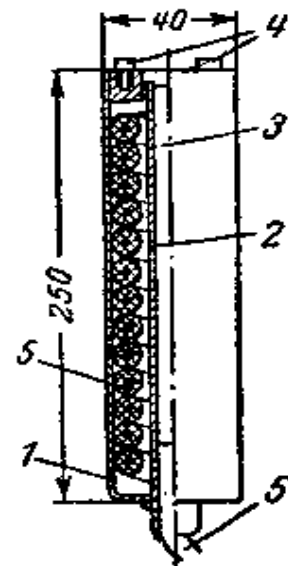


圖 41 電視天綫的鐵氧體對稱裝置
1—外壳；2—套筒；
3—鐵氧體棒；4—固定半波振子的地方；
5—饋綫

入这种棒可以使对称装置的調諧頻率从 42 兆赫平滑地变化到 85 兆赫。

上述装置在用作对称装置时經受住了考驗，与普通 U 型管比較效果更好，提高了图象的清晰度。

15. 天綫的铁氧体变压器

前面曾多次指出过，用来把不对称的电纜连接到对称天綫上去的天綫变压器在采用铁氧体天綫的电路中起着重要的作用。它的用途不仅是变换它所连接的元件的电阻，而且保証从对称天綫过渡到接收机的不对称輸入端。

制造短波和超短波波段的变压器特別困难，因为这时繞綫圈各部分寄生电容量的数值不同会破坏天綫的对称性。它的后果是出現天綫效应，天綫零点变“模糊”等等。

最簡單的天綫变压器是“空气”变压器（沒有鉄心）。由于漏感很大，因此这种变压器的頻率复盖很小（图 42, a）。較完善的是綫圈繞在鉄氧体环上的天綫变压器（图 42, b）。更完善的是具有电感环綫的变压器。

具有电感环綫的变压器能够大大地减少变压器的漏感，因而可以展寬工作頻带。此外，这种变压器的特点是对称性高，因为变压器綫圈間的电容耦合被縮减到最小值。

变压器的构造如图 43 所示。从变压器的等效电路（图 42, b）可以看到，分別繞在高导磁率磁性材料制成的两个环形鉄心上的初級和次級綫圈間的耦合依靠“空腔綫环”来实现。空腔綫环就是由外壳（变压器屏蔽罩）和联结整个结构的中心棒构成的电感环綫。变压器的外壳和中心棒用鍍銀的黄銅制成。

各种结构的实验研究表明，具有电感环綫的变压器结构具有巨大的潜在可能性，可以在很寬的頻带內大大地改善天綫变

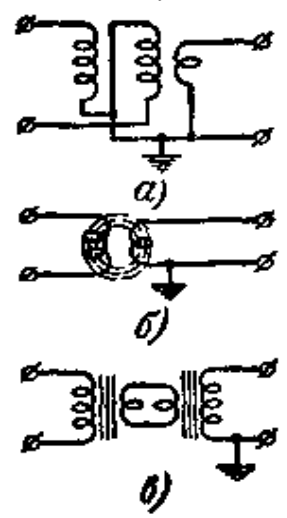


图 42 对称的天线变压器
 a—按 B. Д. 庫茲涅佐夫电路构成的空气变压器；b—绕在环上的变压器；c—具有电感性短路绕的变压器

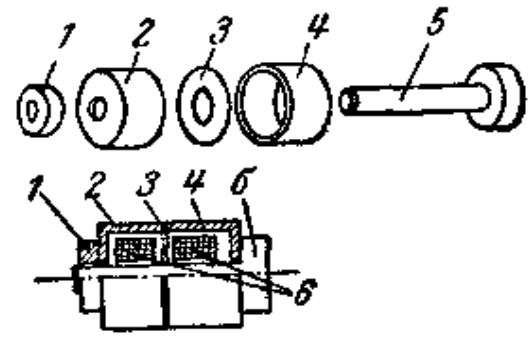


图 43 具有电感环线的变压器
 1—螺帽；2和4—外壳；3—隔离垫圈；5—拉紧螺栓；6—铁氧体环

压器的参数。

在具有电感环线的变压器中，漏磁得以减少是由于采用了导磁率为几百高/奥的铁氧体环形铁心和环上采用特殊的绕法（用平行的导线束将环的大部分外圆周面遮盖起来）以及由于变压器线圈与空腔线圈之间作强耦合。强耦合是借助于特殊的“线圈——屏蔽罩^①”结构，并力求使屏蔽罩贴近环的线圈而获得的。

正确地选择铁心的磁性材料是保证展宽天线变压器频带的决定性因素。正如我们曾不止一次地提到过的，对磁性材料在宽频带中的性能的特点的研究证明，从某频率（极限频率）开始材料的导磁率 μ 随着频率的增高而逐渐减小。

① “线圈——屏蔽罩”结构(Конструкция витка-экрана)是由变压器外壳和中心棒构成，既起空腔线圈的耦合作用，其外壳又起屏蔽磁场的作用——译注。

从展宽装置的工作频带的观点来看，在磁特性的这个频段（高于极限频率）内的工作预示着一定的前景，因为在这个频段内和缓了频率升高时感抗的增加。但是，在目前已经知道的装置中，铁氧体的这种特性没有加以利用，其原因是很明显的，因为过渡到这个频段时伴随着很大的损耗。而且，常把导磁率开始跌落的频率看成是这种材料工作范围的最终极限。如果天线变压器选用合适导磁率的铁氧体，我们就能展宽它的频带。

采用上述原理的天线变压器的尺寸，根据标准的铁氧体环的尺寸来选取，并要遵循结构上的要求。

实践表明，环和外壳之间的间隙为 1—2 毫米的变压器获得最好的结果。为减小环间的电容耦合设置了静电屏蔽，即有孔的圆片，孔的直径略大于拉紧螺栓的直径。

用外径 11 毫米、内径 6 毫米、厚度为 5 毫米的 Φ -100 铁氧体环制成的变压器在超短波波段（30—70 兆赫）给出良好的结果。变压器线圈的匝数通常取 10—20 匝（它可以根据波段和变压器的用途来改变）。外壳的尺寸为外径 15 毫米、内径 12 毫米。拉紧螺栓的直径为 5 毫米。外壳用黄铜制造，表面镀银。