

鐵 淦 氧 在 无 綫 电 机 中 的 应 用

A. Ф. 辛欽柯夫、Л. Г. 馮斯坦著



國防工業出版社

鉄淦氧在无繼电机中的应用

A. Ф. 辛欽柯夫, Л. Г. 楊斯坦著

· 刘云 译 ·

内 容 简 介

本书詳述了鉄淦氧的性能及其作为电感綫圈磁芯、扼流圈磁芯、变压器磁芯、磁性天綫磁芯和可变电感器磁芯在无线电机中的应用。

本书供具有一定水平之无线电爱好者参閱。

苏联 А. Ф. Сенченков, Л. Г. Фунштейн 著 'Применение ферритов в радиоаппаратуре' (Госэнергоиздат 1956 年第一版)

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

787×1092 1/32 印張 27/16 50 千字

1962 年 4 月第一版

1962 年 4 月第一次印刷

印数: 0,001—6,160 册 定价: (10-7)0.36 元

統一书号: 15034·473

目 录

第一章 鉄淦氧的主要性能	5
1 鉄淦氧的一般知識和制造工艺	5
2 恒定磁場中鉄淦氧的参数和性能	7
3 交变磁場中鉄淦氧的参数和性能	9
4 鉄淦氧的磁致伸縮性能	19
5 鉄淦氧的介电性能	21
6 导磁率对時間的稳定性	22
7 矯頑力大的鉄淦氧	23
8 鉄淦氧的微波性能	23
第二章 鉄淦氧磁芯綫圈的設計和計算	27
9 綫圈主要参数的計算	27
10 磁芯材料的选择	39
11 綫圈計算次序	41
12 电感調节方法	47
13 高频扼流圈	50
14 带通滤波器	53
第三章 用鉄淦氧磁芯的变压器	61
15 低频变压器	61
16 电源变压器	63
17 高频变压器	64
第四章 鉄淦氧磁芯可变电感器	66
18 調芯可变电感器	66
19 磁性可变电感器	67
第五章 磁性天綫	71
附录	76

05885

“Оксифер”牌鉄淦氧的主要参数.....	76
产品牌号 中的鉄淦氧的主要参数.....	77
各种牌号鉄淦氧的环状磁芯的几何尺寸.....	78
各种牌号鉄淦氧的E型磁芯的几何尺寸.....	78

18800

鉄淦氧在无繼电机中的应用

A. Ф. 辛欽柯夫, Л. Г. 弗斯担著

· 刘云 译

内 容 简 介

本书詳述了鉄淦氧的性能及其作为电感綫圈磁芯、扼流圈磁芯、变压器磁芯、磁性天綫磁芯和可变电感器磁芯在无綫电机中的应用。

本书供具有一定水平之无綫电爱好者參閱。

苏联 А. Ф. Сенченков, Л. Г. Фунштейн 著 'Применение Ферритов в радиоаппаратуре' (Госэнергоиздат 1956 年第一版)

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

787×1092 1/32 印張 2 7/16 50 千字

1962 年 4 月第一版

1962 年 4 月第一次印刷

印数: 0,001—6,160 册 定价: (10-7)0.36 元

统一书号: 15034.473

目 录

第一章 鉄淦氧的主要性能	5
1 鉄淦氧的一般知識和制造工艺	5
2 恒定磁場中鉄淦氧的参数和性能	7
3 交变磁場中鉄淦氧的参数和性能	9
4 鉄淦氧的磁致伸縮性能	19
5 鉄淦氧的介电性能	21
6 导磁率对時間的稳定性	22
7 矯頑力大的鉄淦氧	23
8 鉄淦氧的微波性能	23
第二章 鉄淦氧磁芯綫圈的設計和計算	27
9 綫圈主要参数的計算	27
10 磁芯材料的选择	39
11 綫圈計算次序	41
12 电感調节方法	47
13 高频扼流圈	50
14 带通滤波器	53
第三章 用鉄淦氧磁芯的变压器	61
15 低频变压器	61
16 电源变压器	63
17 高频变压器	64
第四章 鉄淦氧磁芯可变电感器	66
18 調芯可变电感器	66
19 磁性可变电感器	67
第五章 磁性天綫	71
附录	76

05885

“Оксифер”牌鉄淦氧的主要参数.....	76
产品牌号 ϕ 的鉄淦氧的主要参数.....	77
各种牌号鉄淦氧的环状磁芯的几何尺寸.....	78
各种牌号鉄淦氧的E型磁芯的几何尺寸.....	78

18860

第一章 鉄淦氧的主要性能

1 鉄淦氧的一般知識和制造工艺

到目前为止，变压器和电感綫圈磁芯所用的磁性材料只有下面两类：

1) 通常在低頻时使用的具有很高导磁率的金属磁性材料；

2) 以羰基鉄和鋁硅鉄为基本成分的磁介质，其导磁率不高，但高頻損耗較小。

金属磁性材料（各种变压器鋼和坡莫合金等）的电阻率低（約 $0.00001 \sim 0.0001$ 欧姆·厘米），不能在高頻时使用，因为在金属磁性材料中产生的渦流能够引起相当大的电能損耗（渦流損耗的增长与頻率的平方成正比）。

高頻时所使用的磁介质是一种磁性粉末，粉末的小顆粒間有电介质使彼此絕緣。此种磁介质具有很高的电阻率（約 $0.1 \sim 100$ 欧姆·厘米）。

磁介质的主要缺点是导磁率不高（約 $10 \sim 60$ 高斯/奥）。因此，最近十年来，为了获得高导磁率、高电阻率和低渦流損耗的磁性材料，曾进行过很多研究工作。

在自然界中有一种非金属磁性材料——磁鉄矿（ Fe_3O_4 ）具有很高的电阻率（比鉄大 100000 倍）。但是由于这种材料的导磁率值对時間变化的稳定性不够，因而磁鉄矿被更为稳定的以羰基鉄和鋁硅鉄为基本成分的磁介质所

代替。

在找寻导磁率高和高频损耗小的磁性材料过程中曾发现：如果用一个镍、锰、镁、铜原子或其它的二价金属原子（除锌和镉）置换磁铁矿中三个铁原子中的一个时，可以得到一种非金属磁性材料，这种材料具有对无线电技术说来异常可贵的物理性能。这类材料取名为铁淦氧（也称铁氧体，亚铁酸盐，磁性瓷），由此就把 $MOFe_2O_3$ （此处M是二价金属符号）总称为铁淦氧。

可以肯定，由镍、锰、镁或铜的铁磁性铁淦氧和锌或镉的非铁磁性铁淦氧所组成的复合铁淦氧具有最良好的性能。镍-锌和锰-锌铁淦氧应用极广。

铁淦氧的制造工艺与陶瓷制造工艺相似。

将一定化学成分的粉末状二价金属氧化物的混合物仔细搅拌。用指定的氧化物混合物在钢模上加1~2吨/平方厘米单位压力压制成零件，或者挤压成形。为了零件压制方便起见，粉末须用水湿润或掺些有机粘结剂（占重量的3~5%），经常使用在70~80°C温度下与金属粉末仔细搅拌的石蜡作为这种粘结材料。由于逐渐加热结果，当温度达300°C时这种有机粘结剂就完全从压好的零件中烧掉了。

冲压后零件在1100~1400°温度下进行烧结，铁淦氧在此温度下形成。在烧结过程中有10~20%的收缩。

铁淦氧的主要性能在很大程度上是由化学成分、氧化物颗粒大小、搅拌均匀程度、烧结温度，以及压制零件烧结的时间来决定的。

铁淦氧具有细粒状晶体结构。其机械性能近似陶瓷制件的机械性能。用铁淦氧制成的零件硬度相当高，一定要使用

砂輪和金鋼石工具才能进行加工，只有用金剛砂粉才能很好地磨光。

鉄淦氧导磁率为 $10 \sim 2000$ 高斯/奥。各种鉄淦氧的比重在 $3 \sim 5$ 克/立方厘米之間，导磁率高的比重最大。鉄淦氧的比热在 0.17 卡/ $^{\circ}\text{C}$ 左右，导热性为 10^{-4} 卡/厘米 $\cdot$ 秒 $^{\circ}\text{C}$ 。直綫膨胀系数等于 10^{-5} $1/^{\circ}\text{C}$ ，直流电阻率在 $10 \sim 10^7$ 欧姆/厘米范围之内（比典型的低矯頑性金属材料高 $10^6 \sim 10^{11}$ 倍）。

2 恒定磁場中鉄淦氧的参数和性能

永久磁鉄或电流所造成的磁場，其强度为 H ，用奥斯特表示。有了磁場强度就可知道通过磁場横断面一平方厘米上的磁力綫数。

永久磁鉄或电流造成的磁力綫总数称为磁通 Φ 。

当把某一物体（例如一块鋼）放入磁場內，該物体就会磁化，此时物体內形成一定磁通。磁通的密度即是通过物体截面一平方厘米的磁流，称为磁感应 B 。磁感应的测量单位为高斯。若物体的横断面积为 S ，則磁通 $\Phi = BS$ 。

磁感应 B 与磁場强度 H 的比值称为构成物体的物质的导磁率 μ ： $\mu = \frac{B}{H}$ 。（1）

对于真空和在某种程度上与它近似的空气來說，磁感应在数量上与磁場强度相等，所以 $\mu = 1$ 。根据导磁率的高低，所有物理性质的物体分为反磁性和順磁性两类，其中鉄磁体即順磁体的常見情况。順磁体的导磁率大于1，反磁体的导磁率小于1，但对于其它物体來說（鉄磁体除外）导磁率都接近于1。鉄磁体的导磁率值比順磁体高很多倍。

鉄磁体和其它物体的重要区别还在于：当磁場强度改变

时，其它物体导磁率几乎不变，而这时铁磁体的导磁率却是因磁化程度不同而剧烈变化的变值。如果将铁磁体放入强度变化的磁场中，则铁磁体内的磁感应将按被称为起始磁化曲线（图1）的 OA 曲线改变。由此曲线可以看出，铁磁材料中的磁感应与磁场强度不成比例。

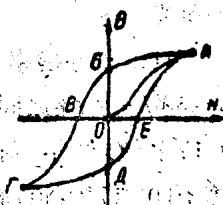


图1 铁磁体的磁滞回线和起始磁化曲线。

最初曲线上升相当慢，然后随磁场强度的增加磁感应剧增，再后磁感应的增加就愈来愈慢了。在强磁场的情况下，当材料开始饱和时，磁感应仅依磁场的增加而增加，并且曲线变成倾向于横轴的直线。

与材料饱和有关的磁感应称为饱和磁感应 B_s 。如果开始减小磁场强度，则物体内部磁感应亦将下降，但不按 AO 曲线，而是按 AB 曲线十分缓慢地下降。当磁场强度循环变化时，磁感应将按所谓的磁滞回线变化（ $ABCTDEA$ ）。

除掉外磁场之后（ $H=0$ ）仍留在材料中的磁感应称为剩余磁感应 B_r 。使材料完全去磁所需要的磁场强度称为矫顽力 H_c 。

在反复磁化时物体中的磁感应好像是落后于磁场强度的现象称为磁滞。所以，由于磁滞现象的缘故，磁化铁磁体所用的能量就大于该物体去磁时消耗的能量。两个能量之差将导致铁磁体被加热，这就是磁滞损耗。磁滞回线的面积与磁滞损耗成正比。

导磁率 μ 与磁场强度 H 的关系曲线图可按照与公式（1）相适应的起始磁化曲线作出。如图（2）所见，导磁率曲线在

$H=0$ 之点与纵轴相交在一定的截矩, 此截矩为材料的函数, 称为起始导磁率 μ_0 。

导磁率与磁场强度关系的一般特性对于各种铁磁体是一样的, 但是被最高导磁率 μ_{max} 所引起的导磁率最大值对于各种铁磁体就可能不相同, 并且与不同的磁场强度相对应。

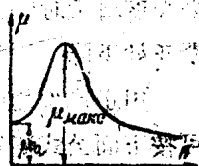


图2 恒定磁场强度与铁磁体导磁率的关系。

恒定磁场中铁淦氧的主要参数列于表(1)。

当磁场强度为100奥时的磁感应作为饱和磁感应。从表(1)的数据中可以看出, 铁淦氧是属于所谓软磁材料的(矫顽力小的材料), 其饱和磁感应很低, 介于1500~5000高斯范围之内。

表1 恒定磁场中铁淦氧的参数

铁淦氧名称	μ_0 (高斯/奥)	μ_{max} (高斯/奥)	$H(\mu_{max})$ 的相应值 (奥)	$H=100$ 奥		
				B_s (高斯)	B_r (高斯)	H_c (奥)
Оксифер-2000	1800~2400	6000~7000	0.15	2500	1200	0.1
Оксифер-1000	800~1200	3000~3500	0.4	3200	1500	0.25
Оксифер-600	550~600	1200~1400	0.7	3100	1400	0.4
Оксифер-500	500~550	1000~1200	0.9	2800	1300	0.5
Оксифер-400	360~440	750~850	1.0	2300	1200	0.8
Оксифер-200	180~220	280~330	2.0	1800	1000	1.5
Оксифер-И-4	180~220	750~850	1.5	4200	2000	0.8
Оксифер-И-5	135~165	650~750	2.5	2800	2250	1.2
Оксифер-РЧ-15	14~16	35~45	30	1850	1000	15
Оксифер-РЧ-10	9~11	14~17	40	1400	400	24

3 交变磁场中铁淦氧的参数和性能

主要参数 在交变磁场中表示线圈磁芯所用磁性材料之特性的主要参数之一乃是动态导磁率 μ_{ω} , 动态导磁率 μ_{ω} 即交变磁感应与交变磁场强度的比值。动态导磁率 μ_{ω} 在交变磁

Оксифер 即铁淦氧, 此处因系工业牌号, 故不译出。——编者

場强度增大时开始增长, 然后沿着接近該磁性材料的飽和範圍开始下降。

用于产生均匀磁場之均匀单层繞組的环型磁芯的导磁率可按下面公式确定:

$$\mu_{\sim} = \frac{2.5 L d \times 10^8}{w^2 S}, \quad (2)$$

式中 L —— 綫圈电感 (亨[利]);

d —— 鉄芯的平均直径 (厘米);

w —— 繞組匝数;

S —— 鉄芯的横断面积, (平方厘米)。

在弱交变磁場中和在低頻时測得的动态导磁率接近于以直流电流測得的起始导磁率。

表示磁性材料特性的另一个重要参数乃是損耗角正切 $\operatorname{tg} \delta$ 或材料质量因数 Q_m 。損耗角正切 (是磁芯損耗电阻与电抗之比)

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{r_c}{2\pi f L}, \quad (3)$$

式中 f —— 頻率 (周);

r_c —— 在頻率 f 和磁場强度 $H_{\sim}$ 时环型磁芯中的总損耗电阻 (欧姆);

L —— 在頻率 f 和磁場强度 $H_{\sim}$ 时有磁芯綫圈的电感 (亨[利])。

材料质量因数是損耗角正切的倒数。

对于低頻, 磁芯中的損耗电阻 r_c 和有磁芯及无磁芯的綫圈損耗电阻之差一样計算, 将有磁芯綫圈的电阻在交流时測出, 而同时将无磁芯綫圈的电阻在直流时測出。如果在高頻时 (超过几十千周) 測量, 則務必考虑导綫集肤作用的損耗。

磁性材料的损耗包括涡流损耗、磁滞损耗和后效损耗。以交变磁场作用下在磁性材料中产生的一些剩余变化为条件的后效损耗决定于磁性材料的内部结构。磁芯中的总损耗角正切等于涡流损耗角正切 $\operatorname{tg} \delta_e$ 、磁滞损耗角正切 $\operatorname{tg} \delta_h$ 和后效损耗角正切 $\operatorname{tg} \delta_n$ 之和。

在弱磁场中片状磁性材料的主要损耗是涡流损耗，而磁滞损耗和后效损耗比起涡流损耗来是很小的。因为铁淦氧具有很高的电阻，所以其涡流损耗小。铁淦氧的主要损耗是磁滞损耗和后效损耗。在弱交变磁场中使用铁淦氧时，绝大部分损耗是后效损耗。对于铁淦氧来说，由于划分损耗十分复杂，所以通常以一定频率 f 和一定交变磁场强度 H_m 情况下测得的总损耗角正切来表示或以比损耗角正切 $\frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu}$ 来表示。

磁导率和损耗角正切与频率的关系 图(3)和(4)表示出弱磁场中各种类型铁淦氧的此种关系。由此二图可以得出一个结论：材料的导磁率愈高，导磁率与频率的关系就愈多。例如，工业牌号 Оксифер-200 的铁淦氧的导磁率在 3 兆周之内不发生变化，而对于导磁率更高的铁淦氧 (Оксифер-2000)，导磁率仅在 100 千周之内不发生变化。图(3)和(4)中

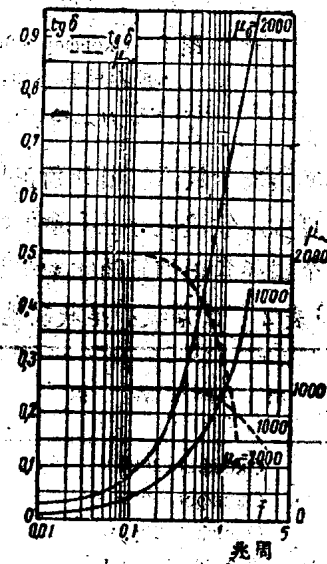


图3 Оксифер-1000 和 Оксифер-2000 的动态导磁率和损耗角正切与频率的关系 ($H_m \approx 0$)。

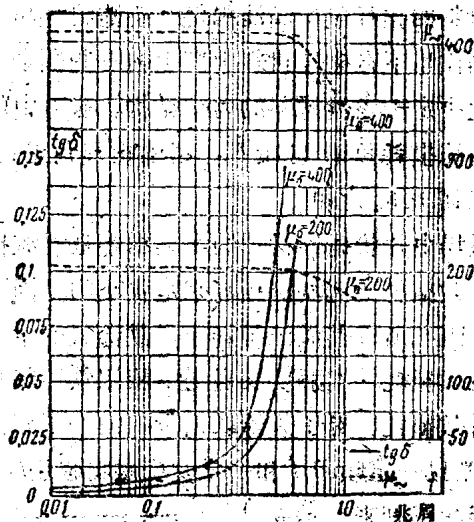


图4 Оксифер-400 以及 Оксифер-200 的动态导磁率 μ 和损耗角正切与频率的关系($H \approx 0$)。

的实线表示铁淦氧损耗角正切值与弱磁场频率的关系。从图中可知，铁淦氧导磁率愈低，其损耗角正切值就愈小，并且这个损耗角正切值随频率增长的也就愈慢。

表2 铁淦氧和尾状磁性材料的磁导率与频率的关系

材 料 名 称	动态导磁率 μ (高斯/奥)	
	当 $f = 1$ 千周时	当 $f = 100$ 千周时
Оксифер-2000	2000	2000
Оксифер-1000	1000	1000
Оксифер-400	400	400
合金 50HXC-0.1	2000	500
合金 50HXC-0.05	1000	1200
合金 XB10.03	850	250