

传输用铁氧体

概要

Issue date: April 2011

●记载内容，在没有予告的情况下有可能改进和变更，请予以谅解。

●RoHS 指令的对应：表示除了依据 EU Directive 2002/95/EC 免除的用途之外，未使用铅，镉，汞，六价铬及特定溴系难燃剂 PBB, PBDE 等。

传输用铁氧体 概要

铁氧体这一磁性材料用 MFe_2O_4 所示的正则表达式来表示。

M 主要是二价金属氧化物，诸如氧化锰，氧化镍，氧化铜，氧化锌等，实用中的铁氧体是此类几种化合物复合而成的多结晶烧结体。

另外，在电气特性方面，铁氧体具有与其他金属磁性材料相比电阻率极高的特点。因此，不容易产生涡电流，可在高频领域下使用。

这样的铁氧体是将纯度极高的铁，镍，铜，锌等的氧化物原料粉末按照符合材质特性的质量比混合，煅烧，粉碎，粒化，压缩成型后，在 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1400^{\circ}\text{C}$ 的高温下烧结，然后加工成最终产品尺寸。为了将铁氧体的特性控制在既定的范围内，我们对以上各工序均实施严格的过程控制。

铁氧体可根据相关用途选择最佳的材质，作为具有代表性的材料，有锰锌（Mn-Zn）基铁氧体和镍锌（Ni-Zn）基铁氧体两个种类。

锰锌（Mn-Zn）基铁氧体具有以高磁导率，高磁通密度为代表，在1MHz以下为低损耗的特性，与此相对，镍锌（Ni-Zn）基铁氧体则具有以电阻率极高，磁导率一般低于数百以下为代表，在1MHz以上为低损耗的特性。

下面所示的是铁氧体磁心的代表性物性常数例。

代表性物性常数例

电导率	锰锌(Mn-Zn)基 240 to 300 镍锌(Ni-Zn)基 10 to 13
比热	800 (J/kg · K)
导热系数	1 to 5 (W/m · K)
线膨胀系数	1.2×10^{-6} (1/K)
维氏硬度	550
抗拉强度	2 to 5×10^7 (N/m ²)
抗拉强度 (50mm跨距)	9.8×10^7 (N/m ²)
杨氏系数	1.2×10^{11} (N/m ²)

● 上述物性常数是指常温下的代表值。

术语解释与定义

1. 初始磁导率 μ_i

是指磁场强度趋于0时的磁心振幅磁导率的极限值。

$$\mu_i = \lim_{H \rightarrow 0} \mu_a$$

2. 振幅磁导率 μ_a

是指处于消磁状态下的磁心随时间发生周期性变化且对其外加强度平均值趋于0的磁场时, 可从磁通密度最大值和磁场强度最大值获得的相对磁导率。

3. 最大透磁率 μ_m (Fig.1)

是指改变磁场强度的振幅时所观测到的振幅磁导率的最大值。

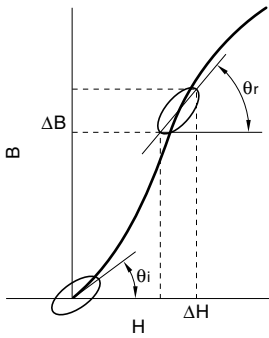


Fig.1

4. 实效磁导率 μ_e

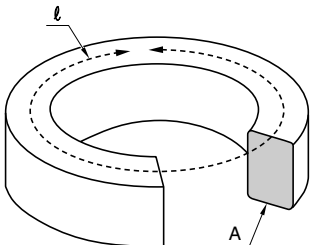
是指在闭磁路(漏磁通可忽略不计)磁心中根据实效自感以下式所示的磁导率。

$$\mu_e = \frac{L \times 10^{10}}{4\pi N^2} \cdot \sum \frac{l}{A}$$

或者

$$\mu_e = \sum \frac{l}{A} / \sum \frac{l}{\mu A}$$

- 在这里 L : 实效自感 (H)
- N : 总卷次数
- l : 各自在相同材料, 相同截面面积下的磁路长度(mm)
- A : 各自的截面面积 (mm²)
- $\sum \frac{l}{A}$: C₁=磁心常数 (mm⁻¹)
- μ : 各自的材料磁导率



备考: 第1式用于测定, 第2式用于已知磁心各部分尺寸及磁导率时的计算。

5. 表观磁导率 μ_{app}

是有磁心时的测定用线圈电感和无磁心时的电感的比, 表示如下:

$$\mu_{app} = \frac{L}{L_0}$$

在这里, L = 有磁心时的测定用线圈电感 (H)
L₀ = 无磁心时的测定用线圈电感 (H)

6. 饱和磁通密度 Bs (Fig.2)

是指对应饱和磁化的磁通密度关于磁通密度,

$$1 \text{ Gauss} = 0.1 \text{ mT (毫特斯拉)}$$

7. 剩余磁通密度 Brs (Fig.2)

是指从饱和磁通密度变为磁场为0时的磁通密度。

8. 矫磁力 Hc (Fig.2)

是指将磁场从饱和状态变为0, 并反向增加磁场时, 磁通密度为0时的磁场强度。

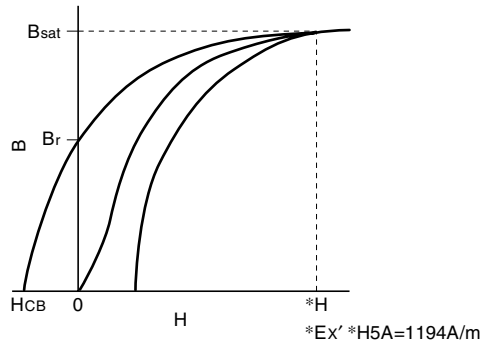


Fig.2

9. 损耗系数 tanδ

是表示磁心损耗的损失角的正切, 用下式表示:

$$\tan \delta = \frac{R_m}{\omega L} = \frac{R_{eff} - R_w}{\omega L}$$

- 在这里, R_m : 仅磁心的损耗电阻
- ω : 角频率
- L : 线圈的自感
- R_{eff} : 包含磁心在内的线圈损耗电阻
- R_w : 仅卷线的损耗电阻

此外, 还与复磁导率存在以下关系:

$$\tan \delta = \frac{\mu''}{\mu'}$$

10. 相对损耗系数 $\tan\delta / \mu_i$

是损耗系数与初始磁导率的比，用下式表示：

$$\frac{\tan\delta}{\mu_i} = \frac{\mu''}{(\mu')^2}$$

在这里， μ'' ：复磁导率的虚数部分

μ' ：复磁导率的实数部分

备考：磁路的空隙较小时，下式成立。

$$\frac{\tan\delta}{\mu_i} = \frac{\tan\delta}{\mu_e}$$

11. 材料磁滞系数 η_B

是表示磁性材料在瑞利领域下作用时的磁滞损耗的常数，用下式表示：

$$\eta_B = \frac{\tan\delta_h}{\mu B_m}$$

在这里， $\tan\delta_h$ ：磁滞损耗系数

μ ：在瑞利领域下的比磁导率

B_m ：最大磁通密度 (T)

12. Q

是指损耗系数的倒数。

13. 实效Q Q_e

是指如下式所示包含磁心在内的线圈损耗系数的倒数。

$$Q_e = \frac{\omega L}{R_{\text{eff}}}$$

在这里， R_{eff} ：包含磁心在内的线圈损耗系数

ω ：角频率 $2\pi f$ (rad/s)

L ：线圈的自感

14. 表现Q Q_{app}

是指如下式所示包含磁心在内的线圈的 $Q(Q_e)$ 和不包含磁心在内的线圈的 $Q(Q_0)$ 的比。

$$Q_{\text{app}} = \frac{Q_e}{Q_0}$$

15. 初始磁导率的温度系数 $\alpha_{\mu i}$

是用因温度变化而引起的初始磁导率变化率除以温度变化量所得的值，用下式表示：

$$\alpha_{\mu i} = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i1}} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}$$

在这里， μ_{i1} ：基准温度 T_1 下的初始磁导率

μ_{i2} ：温度 T_2 下的初始磁导率

初始磁导率温度特性

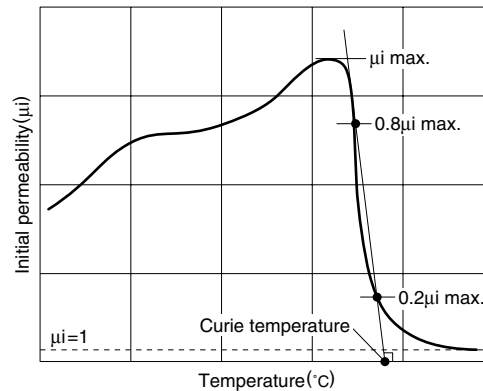


Fig.3

16. 初始磁导率的相对温度系数 α_F

是用初始磁导率的温度系数除以初始磁导率所得值，按下式算出，以 10^{-6} 为单位表示。

$$\alpha_F = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i1}^2} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}$$

17. 居里温度 T_c (Fig.3)

在该温度以下磁心为强磁性，在该温度以上为顺磁性的温度。

18. 磁导率减落 D

是指将磁心完全消磁后，在没有磁性，机械性，热性妨害且在某一温度状态下的初始磁导率的时间变化率，用下式表示：

$$D = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} \times 100(\%)$$

在这里， D ：用%表示的磁导率减落

μ_1 ：完全消磁后，经过短时间后的初始磁导率

μ_2 ：完全消磁后，经过长时间后的初始磁导率

19. 相对磁导率减落系数 D_F (Fig.4)

是表示初始磁导率随时间发生指数函数性变化时的磁导率减落的系数，按下式算出，通常以 10^{-6} 为单位表示。

$$D_F = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\log_{10} \frac{t_2}{t_1}} \cdot \frac{1}{\mu_1^2} (t_2 > t_1)$$

在这里， μ_1 ：完全消磁后，经过 t_1 后的初始磁导率

μ_2 ：完全消磁后，经过 t_2 后的初始磁导率

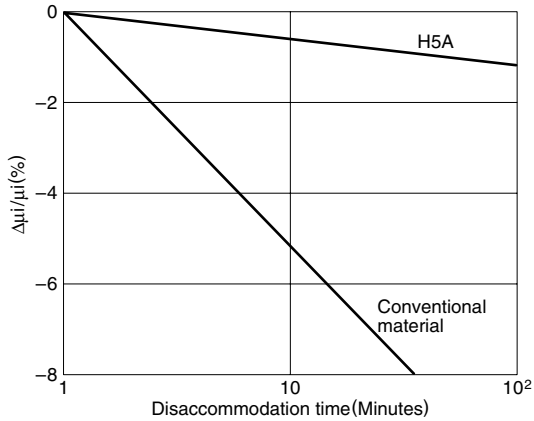


Fig.4

20. 电感系数 A_L

是指如下式所示，由磁心围起的某个一定形状及尺寸的线圈的单位卷数产生的自感。

通常以 $10^{-9}H$ 为单位(nH)表示。

$$A_L = \frac{L}{N^2}$$

在这里，L：有磁心时的线圈的自感 (H)

N：线圈的总卷次数

21. 体积电阻率 ρ_V

是指假设磁心的内部有一个 $1m^3$ 的立方体，在其相对的两个面之间施加电压时的两个面之间的电阻。

●本数据中记载的记号数据基于IEC Publication 60401-3。

●本公司的术语及设置参考了JIS C 2560-1, -2。

材质特性

材质标准特性表 通信机器用

材质			H5A	H5B2	H5C2	H5C3	
初始磁导率	μ		3300 ^{+40%} _{-0%}	7500±25%	10000±30%	15000±30%	
相对损耗系数	$\tan\delta/\mu$	$\times 10^{-6}$	<2.5(10kHz) <10(100kHz)	<6.5(10kHz)	<7.0(10kHz)	<7.0(10kHz)	
初始磁导率的相对温度系数	$\alpha_{\mu r}$	$\times 10^{-6}$	-30 to +20°C	-0.5 to 2.0	0 to 1.8	-0.5 to 1.5	-0.5 to 1.5
			0 to 20°C 20 to 70°C	-0.5 to 2.0	0 to 1.8	-0.5 to 1.5	-0.5 to 1.5
饱和磁通密度* [H=1194A/m]	B _s	mT	25°C	410	420	400	360
剩余磁通密度*	B _r	mT	25°C	100	40	90	105
矫磁力*	H _c	A/m	25°C	8.0	5.6	7.2	4.4
居里温度	T _c	°C		>130	>130	>120	>105
材料磁滞常数	η_B	$\frac{10^{-6}}{\text{mT}}$		<0.8	<1.0	<1.4	<0.5
相对磁导率减落系数	D _F	$\times 10^{-6}$		<3	<3	<2	<2
容积密度*	db	kg/m ³		4.8×10 ³	4.9×10 ³	4.9×10 ³	4.95×10 ³
体积电阻率*	ρ_V	$\Omega \cdot \text{m}$		1	0.1	0.15	0.15

材质			H5C4	HP5	DNW45	DN70	
初始磁导率	μ		12000±30% ≥ 9000(-20°C)	5000±20%	4200±25%	7500±25%	
相对损耗系数	$\tan\delta/\mu$	$\times 10^{-6}$	25°C, 10kHz <8(10kHz)	<3.5	<3.5	<2.0	
初始磁导率的相对温度系数	$\alpha_{\mu r}$	$\times 10^{-6}$	-30 to +20°C			-0.5 to 1.5	
			0 to 20°C 20 to 70°C		±12.5% ±12.5%		-0.5 to 1.5
饱和磁通密度* [H=1194A/m]	B _s	mT	25°C	380	400	450	390
剩余磁通密度*	B _r	mT	25°C	100	65	50	45
矫磁力*	H _c	A/m	25°C	4.4	7.2	6.5	3.5
居里温度	T _c	°C		>110	>140	>150	>105
材料磁滞常数	η_B	$\frac{10^{-6}}{\text{mT}}$		<2.8	<0.4	<0.8	<0.2
相对磁导率减落系数	D _F	$\times 10^{-6}$		<3	<3	<3	<2.5
容积密度*	db	kg/m ³		4.95×10 ³	4.8×10 ³	4.85×10 ³	5.0×10 ³
体积电阻率*	ρ_V	$\Omega \cdot \text{m}$		0.15	0.15	0.65	0.3

* 平均值

变压器，扼流圈用

材质				PC47	PC90	PC95
初始磁导率	μ_i			2500±25%	2200±25%	3300±25%
单位体积磁心损耗 (磁心损耗)* [B=200mT]	Pcv	kW/m ³	100kHz 正弦波	25°C	600	680
				60°C	400	470
				100°C	250	320
				120°C	360	460
饱和磁通密度* [H=1194A/m]	Bs	mT	25°C	530	540	
			60°C	480	500	
			100°C	420	450	
			120°C	390	420	
剩余磁通密度*	Br	mT	25°C	180	170	
			60°C	100	95	
			100°C	60	60	
			120°C	60	65	
矫磁力*	Hc	A/m	25°C	13	13	
			60°C	9	9	
			100°C	6	6.5	
			120°C	7	7	
居里温度	Tc	°C		>230	>250	>215
容积密度*	db	kg/m ³		4.9×10 ³	4.9×10 ³	4.9×10 ³
体积电阻率*	ρ_v	$\Omega \cdot m$		4.0	4.0	6.0

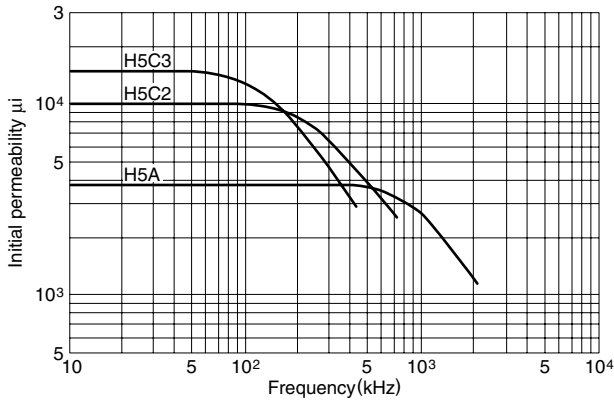
* 平均值

共模扼流圈用

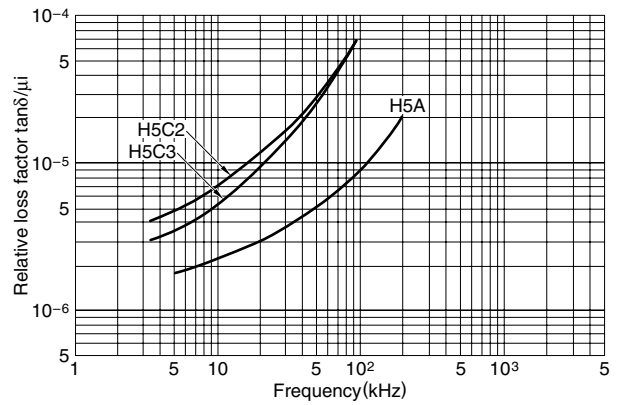
材质				HS72	HS10	HS12
初始磁导率	μ_i			7500±25% (2000min. at 500kHz)	10000±25%	12000±25% (at 150kHz)
相对损耗系数	$\tan\delta/\mu_i$	$\times 10^{-6}$		30(100kHz)	30(100kHz)	20(100kHz)
饱和磁通密度* [H=1194A/m]	Bs	mT	25°C	410	380	430
剩余磁通密度*	Br	mT	25°C	80	120	80
矫磁力*	Hc	A/m	25°C	6	5	6
居里温度	Tc	°C		>130	>120	>130
容积密度*	db	kg/m ³		4.9×10 ³	4.9×10 ³	4.9×10 ³
体积电阻率*	ρ_v	$\Omega \cdot m$		0.2	0.2	0.5

* 平均值

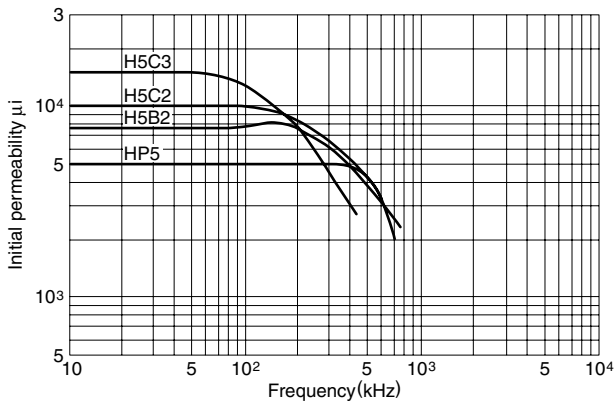
初始磁导率 μ_i 频率特性 锰锌 (Mn-Zn) 铁氧体



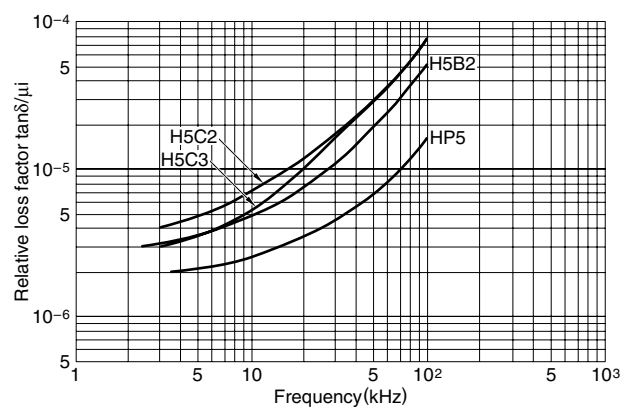
损耗系数 $\tan\delta/\mu_i$ 频率特性 锰锌 (Mn-Zn) 铁氧体



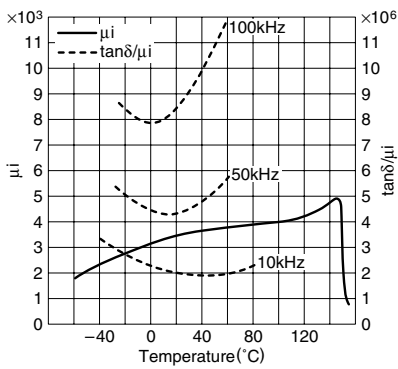
脉冲变压器用铁氧体



脉冲变压器用铁氧体

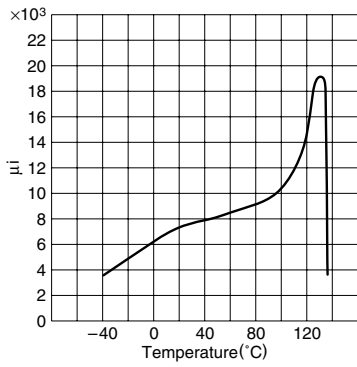


初始磁导率 μ_i , 损耗系数 $\tan\delta/\mu_i$ 的温度特性 H5A

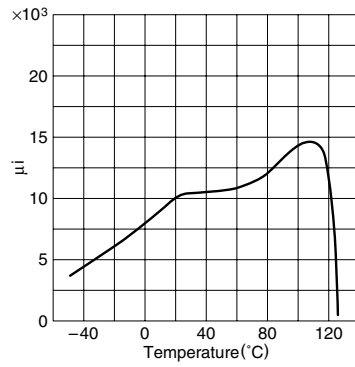


初始磁导率 μ_i 温度特性

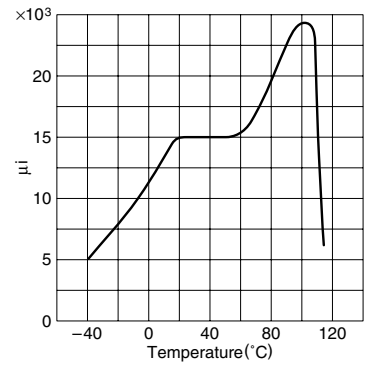
H5B2



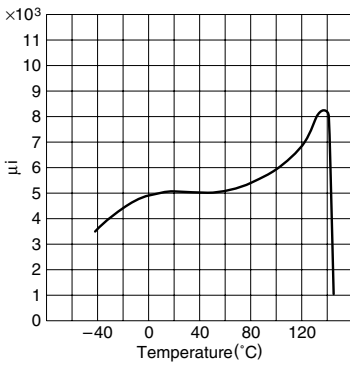
H5C2



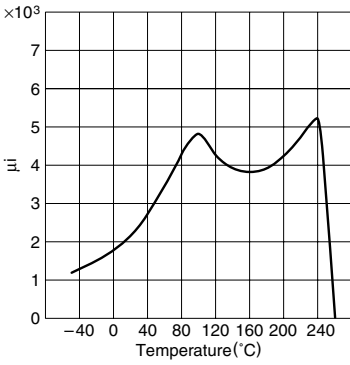
H5C3



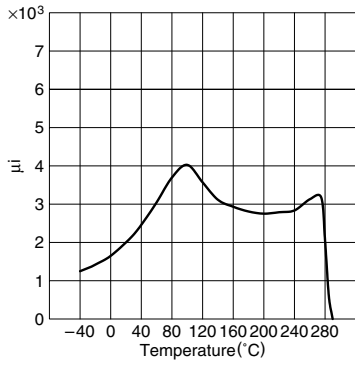
HP5



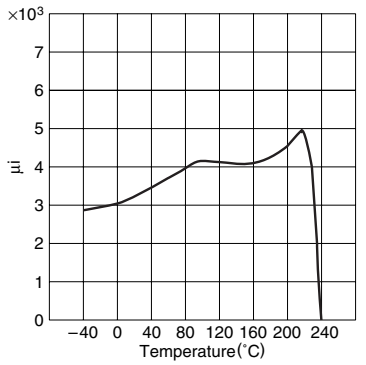
PC47



PC90

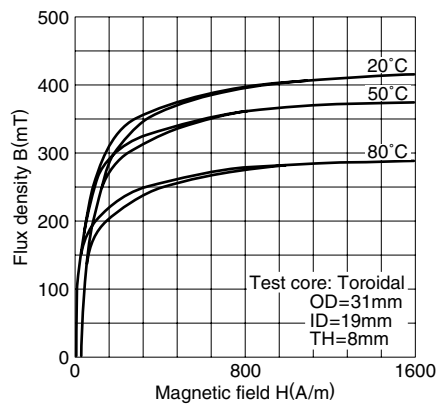


PC95

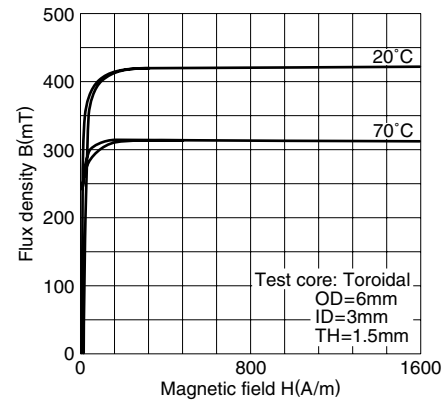


B-H温度特性

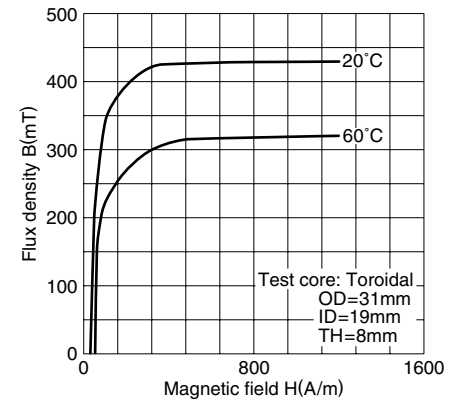
H5A



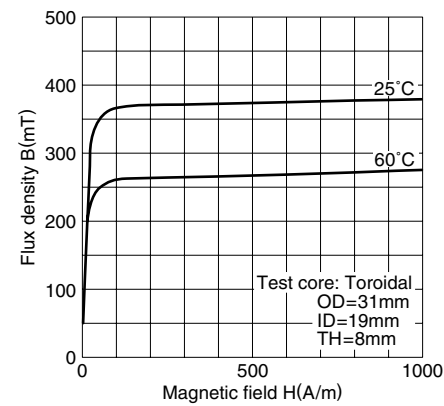
H5B2



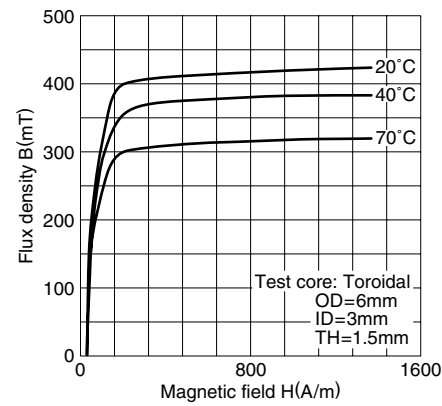
H5C2



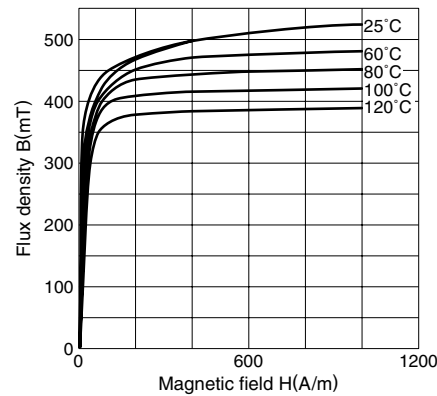
H5C3



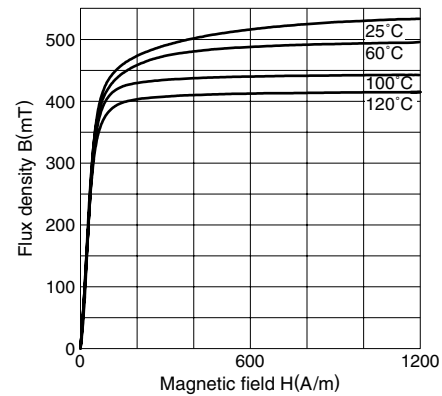
HP5



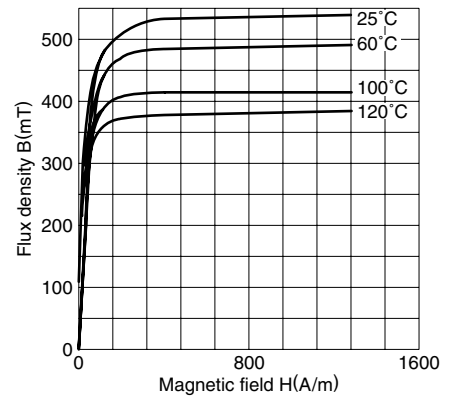
PC47



PC90



PC95



铁氧体的应用与特点

铁样体的应用例

用途例		特性	材质	磁心形状
输送电路	频率分割多重 (FDM) 变换用滤波器 中继器用输入输出变压器 各种调制解调电路 滤波器用匹配变压器 各种信号电路匹配变压器	低损耗 高稳定	H5A H5C2 H5C3 HS72 PC47 PC95	T 磁心 EP 磁心 EPC 磁心 EE 磁心 EER 磁心 P 磁心
数据传输电路	FDM 用混合变压器 PCM 用脉冲变压器 记忆元件输入输出脉冲变压器 电子交换器用脉冲变压器 中继器用输入输出脉冲变压器	高磁导率 广频带低损耗 高稳定 高磁通密度	HP5 H5B2 H5A H5C2 H5C3 PC47	T 磁心 EP 磁心 EE 磁心 EPC 磁心 RM 磁心 EER 磁心 P 磁心
电源电路	高输出变压器 高电压变压器 开关调节器用主变压器 开关调节器电源用平滑扼流圈 逆变器用变压器 整流器用变压器 升压变压器 饱和电抗器	高磁通密度 高磁导率 低损耗 低温上升	HS72 HS12 PC47 PC95	T 磁心 EP 磁心 EPC 磁心 EE 磁心 EER 磁心 RM 磁心
噪音对策	电源电路用共模扼流圈 信号电路用共模扼流圈 线路扼流圈 滤波器用	高磁导率 高磁通密度	HS72 HS10 HS12 HP5 H5A H5B2 H5C2 H5C3	T 磁心 EE 磁心 UU 磁心
应用电路・机器例	铁路信号用滤波器 医疗设备 测量设备 磁力传感器 道路管理系统 钟表用线圈, 变压器	高磁导率 高稳定 高磁通密度	H5A H5C2 PC47 其他	EE 磁心 EI 磁心 EER 磁心 P 磁心

使用注意事项

1. 铁氧体使用注意事项

1-1 无气隙磁心

为了实现输送电话装置及计算机，工业机器用的各种变压器及扼流圈类的小型化，要使用各种形状的高磁导率铁氧体磁心。

如壶形磁心及E形磁心，将上下磁心组合使用的产品因其接合部位上有微小气隙的磁阻，所以表现上的磁导率较低。为了尽量减少这种影像，我们对接合面进行精密加工磨光以尽可能地减少气隙。

因此，在组合磁心组装线圈时，也需要充分清除接合面上的灰尘，污渍，油脂等。

此外，在线圈装配后让磁心摩擦数次，会让磁心之间的配合更紧密，减少偏差，从而获得稳定的电感。

1-2 带气隙磁心

输送电话装置及无线设备的滤波器及振荡变压器等要求使用损耗低，稳定度高的电感器。

为获得这种低损耗，高稳定的线圈，需要使用带气隙的铁氧体磁心。使用壶形磁心及RM磁心，E形磁心时，其气隙要加工在铁芯部分（中脚部分）上。

铁氧体磁心实效磁导率的特点是，具有随着气隙增大而逐渐变低的性质，温度系数及时效也会随其降低率而变小，电感的偏差也会变得越来越窄。

TDK利用这一特性，对每种材质形状均备有带空隙磁心的系列产品，以满足各种特性要求。

1-3 关于磁心常数

本目录中，“磁心常数”记载于各磁心的形状尺寸图下面。

该常数是由磁心形状决定的磁路常数，分为以下4种。

$$\text{磁心常数} : \Sigma \frac{l}{A} = C_1 (\text{mm}^{-1})$$

实效磁路长度: l_e (mm)

实效截面面积: A_e (mm²)

实效体积 : V_e (mm³)

这些常数可以在计算实效磁导率及磁场强度，磁通密度等的时候使用。

其计算式如下所示：

$$\mu_e = \frac{L}{4\pi \cdot N^2} \cdot \Sigma \frac{l}{A} \times 10^{10}$$

$$\hat{H} = \frac{N\sqrt{2} \cdot I}{l_e} \times 10^3 (\text{A/m})$$

$$\hat{B} = \frac{E}{\sqrt{2\pi \cdot f \cdot N \cdot A_e}} \times 10^9 (\text{mT})$$

$$\hat{B} \cong \sqrt{\frac{4\mu_e \cdot E \cdot I}{f \cdot V_e}} \times 10^4 (\text{mT})$$

在这里， μ_e ：实效磁导率

L ：电感 (H)

N ：线圈卷数 (Ts)

I ：励磁电流 (Ar.m.s.)

E ：外加电压 (Vr.m.s.)

f ：频率 (Hz)

\hat{H} ：磁场强度的峰值 (A/m)

\hat{B} ：磁通密度的峰值 (mT)

关于磁心常数的计算方法，假设磁心内部为均一磁通时的计算方法在IEC规格的Pub.205中有所规定，本目录中所记载的值也是依据该规定而求得的值。

虽然在低磁场下使用时较好，但实际磁心的部分截面面积有时并不一定相同，在这种情况下，磁通无法象计算的一样均一。

因此，当实际使用的电平较高，需要注意磁力饱和时，比起利用实效截面面积来计算，利用磁心最小截面面积更为实用。

2. 设计注意事项

2-1 卷线方法与电感的关系

Fig.1是表示线轴的卷线截面面积中所占卷线的高度和AL值关系的图表。

一般磁心的AL值是在某规定的卷线条件下所保证的值,当该条件不同时,便会发生偏差。越是实效磁率低的磁心(AL值低的磁心),这种影响就越大。

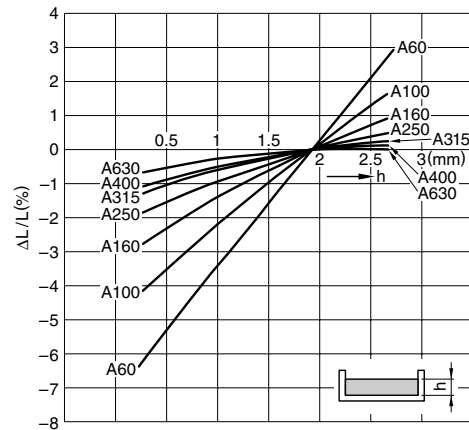
因此,利用磁心的公称AL值设计线圈卷数,也会引起所制作线圈的电感与计算值不同的结果。

TDK在总是保证一定AL值的意义上,针对各个磁心设计了测定线圈的卷线条件。

本目录中每个形状都记载有相应的测定条件,请参考使用。

卷线方法和电感的关系

H5AP22/13-52H



H5AP26/16-52H

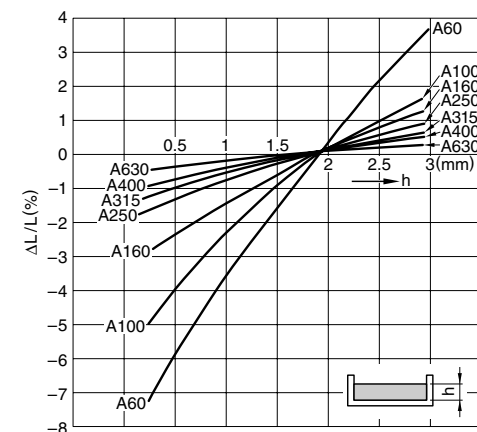


Fig.1

2-2 线圈的分布容量和电感的关系

卷线线圈的分布容量在与电感器的使用频率的关联中,会产生各种不良影响,对于电感值也不例外。

线圈的卷线从数百变为数千转时,即使在数kHz的低频下,有时也会发生表现电感与计算值不符的情况。

Fig.2是表示线圈的分布容量和表现电感增加率关系的图表。

从该图表可知,使用频率越是接近线圈的自共振频率,表现电感与真值的差异就越大。

为防止这种情况,需要按照可尽量减少线圈分布容量的条件进行卷线。

要减少分布容量,可以考虑以下对策:

- 卷线时不要让卷线起始层和卷线结束层互相接近。
- 使用分割线轴,在各个截面上均匀卷线。
- 将卷线起始层连接到电位较低的一方(接地侧)。

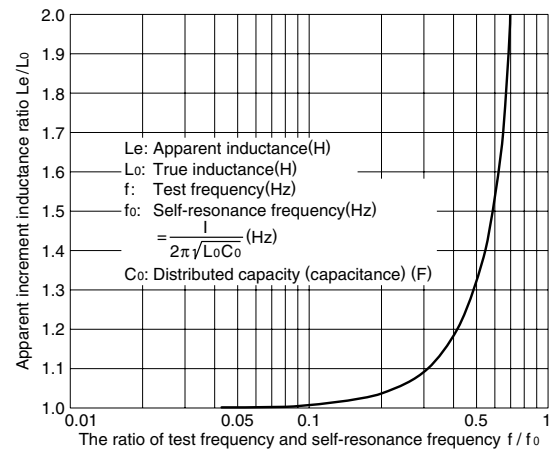


Fig.2

2-3 关于电感的稳定性

2-3-a. 关于稳定性设计

高可靠性滤波器中使用的电感器要求具有 10 ~ 20 年的长期稳定性。进行这种电感器的设计时，要考虑以下方面：

长期容许变动范围 = 铁氧体磁心的时效变化量 + 铁氧体磁心的温度特性变动量 + 装配误差容限

误差容限是为在线圈装配及使用中受到各种冲击而引起的微小变动或者最终调整时的设置误差，温度补偿误差等而设置的。

并且，该值因规格的严格程度及部件数量，作业工序等的差异会有各种不同的情况。在实际使用时一般都是根据从工序分析中得到的经验数据来加以确定。

铁氧体的时效变化及温度特性在材质特性表中是以磁导率减落系数和温度系数的形式来表现的，可以利用其进行计算。

但是，材质特性表中所记载的温度系数是以完全闭磁路磁心（环形磁心）评价而来的，所以磁路复杂的实用磁心多少会有些不同。

为此，只依靠简单的计算有时无法得出，所以在本目录中，按每种材质，形状， A_L 值对主要磁心的温度系数的规格值分别进行了记载。这些值根据测定温度范围等条件的不同而变化，因此，在特殊条件下，需要每次都进行实际确认。

2-3-b. 时效变化量的推定

作为铁氧体磁心的一般性质，从烧结之后开始的磁导率有随时间而降低的现象。

表示该变化比例的系数作为“相对磁导率减落系数 D_F ”已知，其表达式见本目录说明中的“铁氧体的术语解释与定义”。

该相对磁导率减落系数如材料特性表所示，铁氧体磁心的每种材质分别具有其固定的值。

在对存在长期间的电感动量问题的精密电感器元件进行设计时，通过使用该系数可以提前对其进行预测。

磁导率，即电感的时效变化相对于时间的对数大致按直线变化，从相对磁导率减落系数 D_F 的表达式可表示如下：

$$\frac{\Delta L}{L} = D_F \times \mu_e \log_{10} \frac{t_2}{t_1} \quad (t_2 > t_1)$$

在这里， $\frac{\Delta L}{L}$ ：从时间 t_1 到 t_2 的电感变化率

D_F ：相对磁导率减落系数

μ_e ：实效磁导率（完全闭磁路的磁心使用初始磁导率 μ_i ）

t_1 ：初始时间（磁心制造时点设置为“0”）

t_2 ：作为目标的终点的时间（磁心制造时点设为“0”）

计算例：

假设使用 H5A P18/11Z-52B 制作了电感器，求出其 20 年后的电感动量。

从本目录中读取以下参数：

H5A 材质的 D_F : 3×10^{-6} max.

P18/11Z 的 μ_e : 2138

另外，进行 t_1 , t_2 设置所需的磁心制造时点可从本公司的批号中得知。例如，

8910 → 2008 年 9 月 10 日

8X23 → 2008 年 10 月 23 日（Y=11 月，Z=12 月）

如上所示，截至电感器组配完成时点的时间为 t_1 ，截至 20 年为止的时间为 t_2 。

现在，设 t_1 为 2 个月， t_2 为 242 个月

$$\frac{\Delta L}{L} = 3 \times 10^{-6} \times 2138 \times \log_{10} \frac{240}{2} = 0.0133$$

即，作为电感的变化率，降低 1.33%。

注意：铁氧体磁心除了烧结后发生的时效变化以外，还有诸如磁心暴露在居里点以上高温时，受到达到饱和磁通密度一样的强磁力冲击时，以及被施加了强应力时，还会发生以这些时点为起点的磁导率减落。

在此类情况下，可以按与上述例子同样的计算方法预测电感的变动量，但对于最终调整完成后的电感器元件，需要注意不要让其受到上述的强冲击。

2-4 关于直流重叠特性

直流重叠特性图用于在设计有直流通过的变压器及电感器时获知该选用何种材质，形状， AL 值的磁心为好，或者选用的磁心可在多大的直流磁场范围内保持稳定的电感。

Fig.3是典型的磁心直流重叠特性例。

是在横轴上取重叠的直流磁场（安培匝数），在纵轴上根据磁心气隙的调整取各种 AL 值的图表。

H5A P30/19的直流重叠特性例

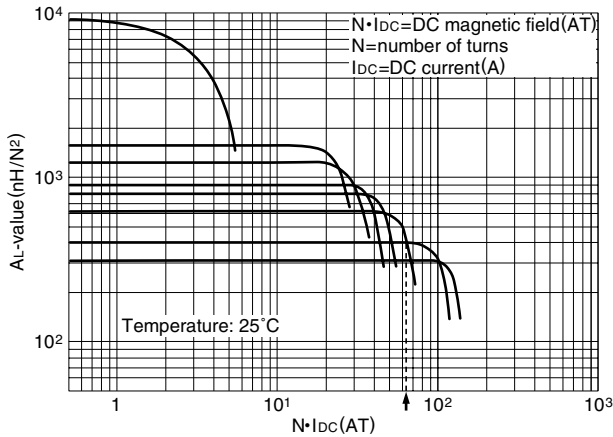


Fig.3

从该图表可知，磁心的 AL 值越低，其可以保持一定电感的直流磁场的范围就越大。

这是因为，由于 AL 值较低的磁心其磁导率也小，因此磁心的 $B-H$ 曲线的斜度就会变平，相对于磁场的强度的 $B-H$ 曲线的直线范围就会变大。

另一方面，如材质特性篇中所述， $B-H$ 曲线具有受环境温度的影响的性质，特别在温度较高时，材质的饱和磁通密度会变低。

直流重叠特性也同样，根据环境温度的变化，其可以稳定使用的直流磁场的大小也会发生变动。这种变动的比例与磁通密度的情况相同，如果以材质特性篇的 $B-H$ 曲线的温度特性为标准，则按照大致同等的变化率来考虑即可。

例：

从Fig.3中可以看出， $AL400$ 的磁心（带气隙， $AL400$ 的磁心）可保持一定值的直流磁场的极限为65AT（Fig.3图表中的箭头）。

如果线圈为1转，则可以通过65A的直流（环境温度为25°C时）。

2-5 关于功率设计

关于功率变压器类设计的基本项目可以按下表所示：

项目	设计上的基本项目	限定要素	研究对象
1	磁通密度 (磁心的饱和)	输入电压 频率 容许温度 一次卷数	磁心材质 磁心形状 实效磁导率
2	发热	铁损耗	磁心材质 磁心形状 实效磁导率
		铜损耗	容许温度上升值 磁心损耗 磁心卷线截面积 铜的占空系数 一次卷数 二次卷数
3	阻抗率	额定输出功率 电流密度 环境温度 容许温度上升率	磁心材质，形状 AL 值 二次卷数

关于磁通密度，由于使用1-3项所示的算式，需要确认所选用磁心不超过容许磁通密度，同时要研究该磁通密度下的磁心损耗是否属于发热容限范围内的值。

另一方面，还需要研究进行功率输送时，通过一次，二次卷线电流和因卷线电阻而产生的铜损耗所引起的发热是否在容限范围内。

此外，为了输送额定功率，在考虑了与外围电路的匹配时，阻抗率也需要一个规定的值，所以，也需要就此对选用的磁心材质，形状 AL 值的适用性进行研究。

3. 线圈的组装方法

为了获得更加稳定的线圈，建议注意以下所述的方面：
组配磁心时，磁心的接合部分不可有污渍。

否则，不但无法得到适当的电感，而且还会导致产生不稳定性。
此外，还会导致附件及磁心与磁心之间无法顺利装配。

进行磁心与线轴的粘合时，需要注意粘合剂的种类及粘合部位。
此外，粘合剂的用量应控制在最低需要限度。其原因是，铁氧体磁心与粘合剂的热膨胀系数有着巨大差异，有时会引发机械性变形，对电气特性产生不良影响。

3-1 关于粘合剂

建议粘合剂要根据要粘合的部分使用以下产品：

3-1-a. 线轴固定用

粘合剂：合成橡胶类粘合剂（例：索尼粘合剂SC12N）

该粘合剂在常温下硬化约需12小时。此外，封装到外壳内时，涂漆后需要放置24小时左右，以使粘合剂中所含的有机物得到充分挥发。

3-1-b. 磁心固定用

粘合剂：环氧树脂粘合剂AW106

硬化剂：硬化剂HV953U

混合比：环氧树脂粘合剂AW106 100g/硬化剂 HV953U 80g

适用期：约2小时（20°C）

硬化时间在常温下需要约12小时左右。为了让其早一些硬化，在70°C左右的温度下干燥2小时左右比较有效。

注意：要以重量比5:4的比例混合环氧树脂AW106和硬化剂HV953U。该粘合剂的适用期为2小时左右，所以建议在只在使用之前混合所要的用量。

3-2 组装

3-2-a. 组装的预处理

磁心内侧和外侧的灰尘请用刷子或毛刷进行彻底清除。磁心接合面的油污请用浸过酒精等溶剂的印台进行擦除。该印台的表面要使用没有绒毛，尼龙之类的布。

另外准备干燥的印台，用来清除磁心的湿气可方便组装。

3-2-b. 线轴的粘合

将3-1-a项的粘合剂涂抹在磁心的内侧底面的一个点上，然后将卷线后的线圈按Fig.4所示方法插入，进行粘合。

此外，最好不要把粘合剂涂抹在磁心的整个底面上。磁心与线圈到粘合为止，在常温下需要12小时左右。

然后，将磁心组配到模具中，轻轻摩擦2~3次，通过目视或使用夹具进行对中。

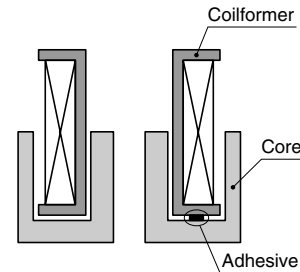


Fig.4

注意1：只将粘合剂涂抹一个点的原因是，如果不这样做，由于热膨胀系数的差异，铁氧体和粘合剂之间会发生机械性变形，从而对各种特性产生影响。

尤其是对温度特性有不良影响。

注意2：本公司不提供3-2-b项的对中夹具，但备有相关规格。

3-2-c. 磁心的粘合

关于组配到模具后的磁心的粘合，建议对磁心的外侧按Fig.5所示的位置进行两个点的粘合。

最好不要将磁心和模具粘合在一起，所以请注意避免。

建议粘合剂要使用3-1-b中记载的环氧树脂类粘合剂。

如果不使用模具，也可对接合面（环形部分）进行粘合。粘合剂要尽量涂薄，并让上下的磁心摩擦数次。在粘合剂干燥之前，粘合面上要一直保持0.2N/mm²的压力。此时，铁芯部分请勿粘合。

粘合后的磁心干燥时间在常温下需要12小时左右，要使其快一些硬化时，需要将其放入70°C的干燥机内干燥2小时左右。

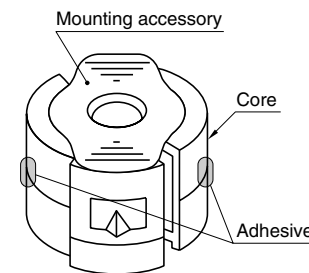


Fig.5

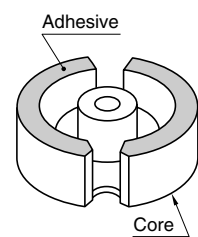


Fig.6

3-3 线圈的浸渍

如果针对湿度有减少影响的要求，请用蜡只对线圈进行真空浸渍。

此时，蜡要使用电气性品质良好的产品。

此外，操作温度要控制在各线轴的最大容许温度以下。

插入线圈时，要注意不要让蜡附着在磁心的接合面上。

还有，电气方面要求严格时，作为避免湿度的方法，建议采用同时具有静电屏蔽效果的密封。

3-4 通过温度循环进行的时效处理

线圈的时效处理是用于优化电感器接合部及模具配合，减少机械性变形的处理。

对经过粘合并组装后的磁心建议以0~70°C的温度循环连续进行3次以上处理。1次循环的时间需要达到8小时以上。这种磁心的时效处理要在磁心粘合后插入调整器进行了粗调的状态下进行。