



开关电源使用的 磁芯

简介

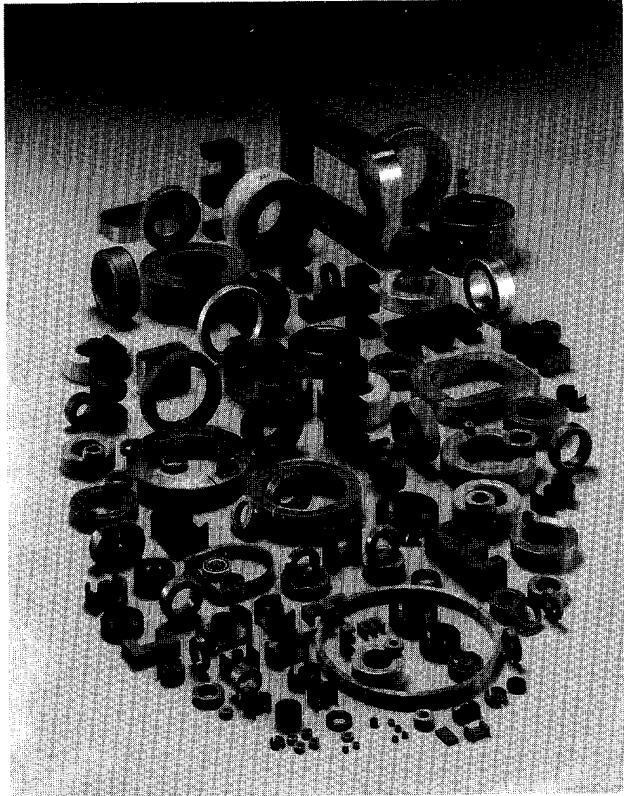


图 1: 各种磁芯。

开关电源 (SPS) 的优点大家都很清楚。这些装置中所用的各种电路也在文献中说明得非常清楚。磁芯在开关电源电路中起重要作用。磁芯可由多种原料经一系列工序制成, 可以有各种形状和大小, 如图1所示。

每种材料都有自己的特性。因此, 必须参考材料特性考察具体情况下对电源磁芯的要求, 从而选择适当磁芯。

本文介绍开关电源磁芯所用的各种磁性材料、制造方法以及和电源主要部分相关的有效磁特性。

磁芯可分为以下三种基本类型: (1) 绕带磁芯, (2) 磁粉芯, (3) 铁氧体。

以下 MAGNETICS 资料详细讲述另外一些磁芯资料, 包括材料说明和特性, 以及尺寸和特别设计资料:

铁氧体磁芯.....	技术公报 FC-601
钼坡莫合金和高磁通磁粉芯.....	技术公报 MPP-400
铁硅铝磁粉芯.....	技术公报 KMC-2.0
高磁通磁粉芯.....	技术公报 HFPC-01
绕带磁芯.....	技术公报 TWC-500
切割型磁芯.....	技术公报 MCC-100
电感器磁粉芯设计软件	www.mag-inc.com
共模电感器设计软件	www.mag-inc.com

目錄

绕带磁芯.....	1
磁粉芯.....	3
铁氧体磁芯.....	5

绕带磁芯

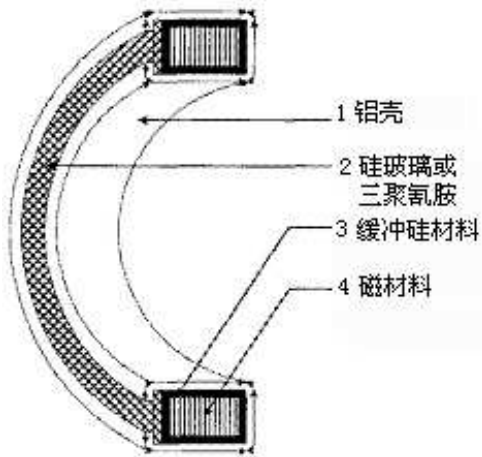


图 2: TWC 剖视图。

图 2 是典型绕带磁芯的剖视图。这个磁芯由磁合金窄带制成，厚度为 1/2 密尔到 14 密尔。宽度为 1/8” 到若干英寸。金属带首先切成所需宽度，并覆盖上薄的绝缘材料涂层，然后绕制在芯棒上，一圈包着一圈，一直绕到预定厚度。最后一圈通过点焊焊接在前一圈上，防止松开。

绕制时磁芯材料受压，所以会丧失部分磁性。为了恢复这些失去的磁特性，磁芯必须在氢气炉中退火，退火温度接近 1000°C。

表 1: 绕带磁芯材料的磁特性

磁材料	饱和磁感应强度千高斯 (B_m)	居里温度 °C (T_c)	使用频率上限*	
			带厚 (英寸)	频率
MAGNESIL® (3% SiFe)	16.5	750	0.012 0.006 0.004 0.002	100 Hz 250 Hz 1 kHz 2 kHz
SUPERMENDUR (铁钴钨合金材料)	21	940	0.004 0.002	750 Hz 1.5 kHz
ORTHONOL® (50% Ni)	15	500	0.004 0.002 0.001	1.5 kHz 4 kHz 8kHz
坡莫合金 (80% Ni)	7.4	460	0.004 0.002 0.001 0.0005	4 kHz 10 kHz 20 kHz 40 kHz
非晶 2605SC (铁基)	15.5	370	0.001	20 kHz
非晶 2605-S3 (铁基)	14	370	0.001	100 kHz
非晶 2714A (钴基)	5.75	205	0.001	300 kHz

*频率极限是根据处于磁通饱和或接近饱和状态下的材料获得的。频率越高越好，这样磁感应强度就越低—参见正文。

确切的温度和冷却循环根据材料不同而有所变化，而且对于实现最佳磁特性至关重要。

将磁芯置于保护容器内，并使用少量硅化合物作为缓冲物，保护磁芯免受冲击或振动，冲击或振动很容易减弱磁芯磁特性。测试后磁芯就可以出厂了。

绕带磁芯使用的合金一般是 **Magnesil[®]**（马格尼西合金）、铁钴钒合金材料、**Orthonol[®]**（镍铁磁芯材料）、坡莫合金和 **Metglas[®]**。表 1 是这些材料的数据比较。图中最后两列是可达到的材料厚度和针对每种厚度推荐的最高工作频率。

马格尼西合金是硅铁复合物，主要用作低频材料。对于工作频率为60Hz的磁芯，这种材料是最佳选择，因为在以上材料中它的磁感应强度最高，而且成本最低。

铁钴钒合金材料是50%钴基合金，由于经特殊处理，矩形度和磁感应强度都很高。建议体积小或工作于高温下的装置使用这种材料。

镍铁磁芯材料是 50%Ni - 50%Fe 的复合物，磁感应强度比马格尼西合金低，但是损耗更小，并可在更高频率下工作。通过比较材料厚度相同时的推荐频率可看出这一点。2密尔马格尼西合金的最大频率是2kHz，而镍铁磁芯材料是4kHz。而且，镍铁磁芯材料比马格尼西合金贵。

坡莫合金是 80%Ni — 20%Fe 的复合物，磁感应强度比前三种材料都低。但它的工作频率最高。例如，2密尔厚的坡莫合金可用于频率为10 kHz 的场合。

非晶可提供材料的厚度可达 1密尔。磁芯处理方法和其它绕带磁芯相同。**合金2605**是铁硅合金，可制成切割型磁芯形式，这种材料的储能量比坡莫合金高。（切割型磁芯的制造方法和绕带磁芯相似，只不过切割型磁芯是矩形并切成两部分，两部分之间有气隙）。**合金2714A**是钴基合金，磁导率和矩形系数都较高，而磁芯损耗较低。由于这些特性，这种材料适用于高频场合，例如开关电源的磁放大器。

绕带磁芯材料的频率上限由如下因素确定：在饱和变压器中，使磁芯在中等温升下即可饱和的最高频率。如果允许大温升，或磁芯工作磁感应强度低于饱和磁感应强度，那么频率可高于表中所列频率。

应注意，这些材料的居里温度都很高，这也是多数磁性金属的特性。居里温度就是材料丧失磁性的温度。金属的居里温度比功率应用中使用的铁氧体高。

磁粉芯



图 3：典型磁粉芯。

磁粉芯有三种类型：（1）钼坡莫合金，（2）高磁通材料，以及（3）KOOL MU[®]（铁硅铝）。这三种类型的制造方法类似。

图 3 显示了磁粉芯的某些代表性尺寸。首先将合金材料磨成细粉。然后在粉末中掺入绝缘材料，使颗粒之间彼此绝缘，从而增大电阻率。然后将粉末压成环形。接着磁芯经退火和油漆，然后 100% 接受电感测试。

磁粉芯的内径和外径都较大，这样有利于绕制。油漆同样有助于绕制，这是因为油漆摩擦系数小，而且由于能使导线和磁芯相绝缘，所以可带来更大安全。

钼坡莫合金（MPP）磁粉芯的材料类似于绕带磁芯的材料坡莫合金。MPP 磁芯的磁导率为 14 到 550，可划分为十个不同范围。这和纯净材料的坡莫合金金属大不相同，在不同测试条件下，坡莫合金金属的磁导率在 10,000 到 200,000 之间。MPP磁芯磁导率减小的原因是由于绝缘介质将坡莫合金微粒分隔开，从而使整个环形磁芯中分布有很多气隙。正是由于这些气隙，坡莫合金粉末才能在高达数百奥斯特的直流场下不饱和。第 4 页图 4 说明这一点，图中是一系列磁导率对应直流偏置曲线图。磁导率是以未加直流电时的电感以百分比形式给出。

MPP 磁芯的损耗极低，而且储存能量很大，所以非常适用于高频扼流线圈和高频功率电感器。

每批磁芯的电感和磁导率都用标称值表示，标称值和实际值之间可以有 $\pm 8\%$ 的公差。磁芯都 100% 经过测试，并按每隔 2% 的公差分档。所以对于磁导率不是标称值的磁芯，设计人员会绕制略微不同的匝数，从而使电感标称值的误差为 $\pm 2\%$ 。

高磁通磁粉芯的原料类似于镍铁磁芯材料（50Ni — 50Fe）。之所以取这个名字，是因为它们的磁感应强度大于坡莫合金。这类磁芯储存能量较高，所以在较大直流电流下也不会饱和。它们可用于制造体积和重量较小的元件。高磁通磁芯的损耗比坡莫合金磁芯大。

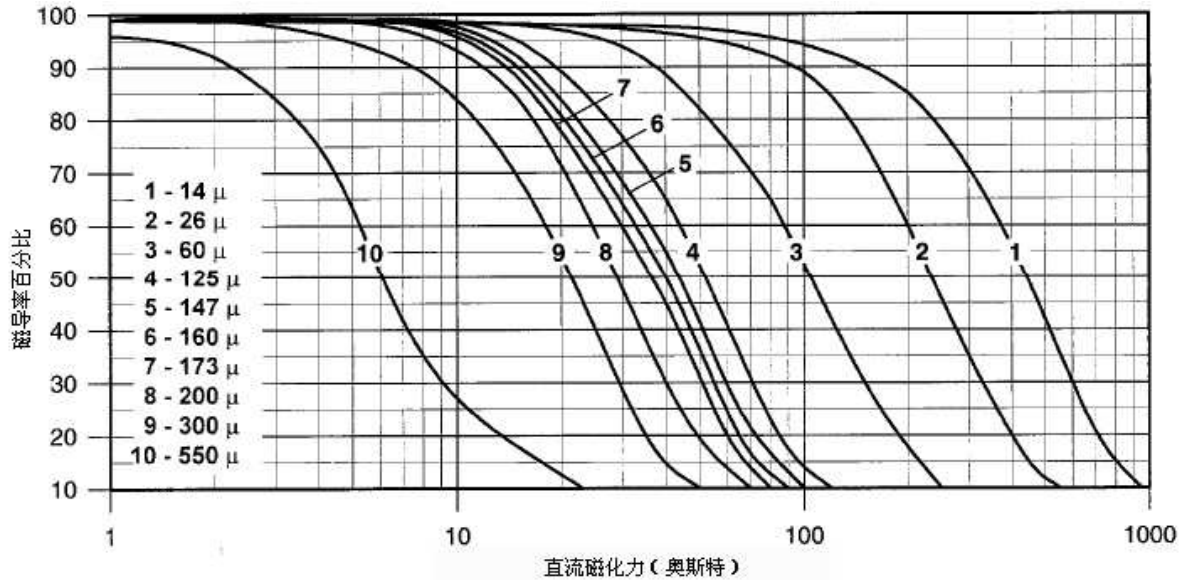


图 4：坡莫合金磁粉芯的磁导率一直流偏置曲线。

铁硅铝 (Kool Mu) 磁粉芯的原料是铁基合金。它的磁芯损耗高于 MPP，储能量大但是很经济。不过铁硅铝磁芯的损耗低于铁粉芯。所以在由于纹波较大而导致发热的场合，铁硅铝磁芯优于铁粉芯。在一些场合允许发热，这时铁硅铝磁芯可以比同样情况下的铁粉芯小。铁硅铝磁芯非常适用于串联噪声滤波器，这种情况下电感器必须在交流电压较高时不发生饱和。与铁氧体磁芯相比，使用铁硅铝磁芯的线路滤波器尺寸较小，匝数也较少。因为磁感应强度高（10,000 高斯）和磁芯损耗低，所以铁硅铝磁芯非常适用于单向激励场合，比如脉冲变压器和回扫变压器。这类磁芯有五种磁导率（26 到 125）。

这三种磁粉芯的尺寸相同。

铁氧体磁芯

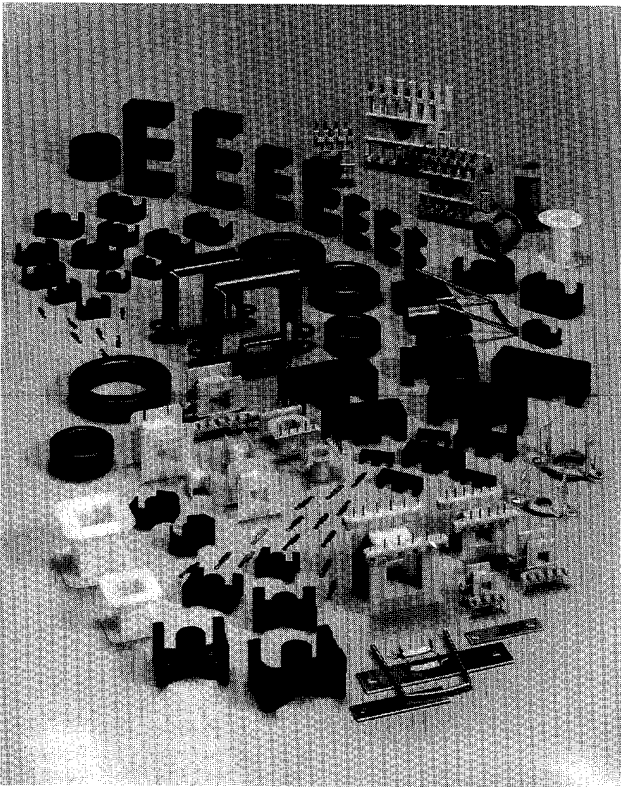


图 5：典型铁氧体磁芯和骨架

图 5 是各种形状和大小的铁氧体磁芯。铁氧体的制造方法不同于前面讨论的材料。铁氧体的原料是铁、锰和锌等各种金属的氧化物。氧化物通常可用作绝缘体，所以铁氧体的电阻率高于磁合金，因而铁氧体可在高得多的频率下工作，甚至可在兆赫范围内工作。

原材料混合在一起，在预烧结炉中烧结。然后再破碎成均匀微粒，并压制成所需形状。“磁芯是将生胚在一种受控制的烧结炉中烧结而成。

由于烧结好的磁芯是坚硬的陶瓷，所以后续加工要使用金刚石砂轮。罐型磁芯以及 E 型、U 型和 I 型磁芯等成对磁芯的结合面必须接受研磨，尽量减小气隙。环形磁芯在转筒上磨光，在这道工序中将磁芯的锐边除去。

铁氧体材料

铁氧体的电气特性不同于磁粉芯或绕带磁芯。表 2 是七种铁氧体磁芯材料及其电气特性。磁感应强度和初始磁导率都低于磁合金材料。F、P、R 和 K 材料在电子功率变压器中使用最多。区别在于磁芯损耗。室温下 F 材料磁芯损耗最小，随温度升高 P 和 R 材料的磁芯损耗减小，大约 70°C 时 P 材料达到低点，大约 90°C 时 R 材料达到低点。K 材料在频率高于 20kHz 时磁芯损耗较低。J、W 和 H 材料适用于电磁干扰滤波器等，此类场合下需要高磁导率。

表 2: 各种铁氧体材料及其特性

材料代码	磁感应强度	初始磁导率	应用场合	居里温度 °C
R	5,000	2,300	变压器 电感器	> 230
K	4,600	1,500	"	> 230
P	5,000	2,500	"	> 230
F	4,900	3,000	"	> 250
J	4,300	5,000	电磁干扰滤波器 宽带变压器	> 140
W	4,300	10,000	"	> 125
H	4,200	15,000	"	> 120

铁氧体磁芯形状

铁氧体磁芯的形状和尺寸多种多样。每种形状都有明确优点，从而最适用于某种场合。表 3 目前最常用的铁氧体形状以及它们在各方面的相互比较。如表中所示，选择时要考虑很多因素，没有万能方案，多数情况下要做些折衷处理。

表 3
铁氧体磁芯几何形状比较表

	罐型磁芯	双片型磁芯	E 形磁芯	Ec 和 ETD 磁芯	PQ 磁芯	EP 磁芯	环形磁芯
磁芯成本	高	高	低	中	高	中	非常低
线轴成本	低	低	低	中	高	高	无
绕制成本	低	低	低	低	低	低	高
绕制灵活性	良好	良好	极好	极好	良好	良好	一般
装配	简单	简单	简单	中等	简单	简单	不需要
安装灵活性**	良好	良好	良好	一般	一般	良好	不好
散热	不好	良好	极好	良好	良好	不好	良好
屏蔽	极好	良好	不好	不好	一般	极好	良好

** 将磁芯两半装在一起以及将组装好之后的磁芯安装在电路板上或底座上都需要另外的骨架。

开关电源

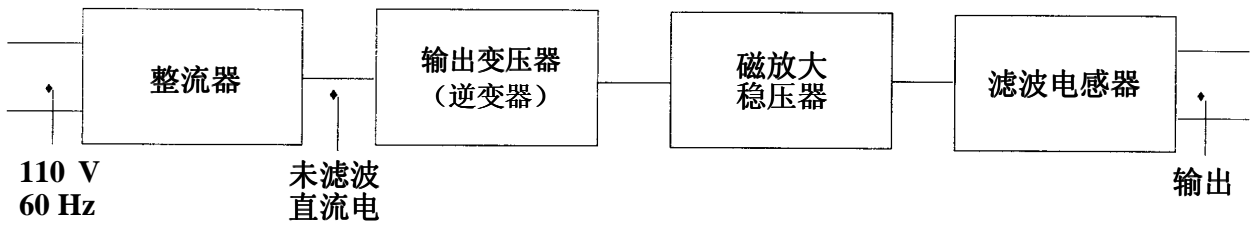


图 6: 开关电源框图

图 6 是典型开关电源的示意图。图中的输入是 60 Hz 线路电压，然后经整流。得到的直流电经逆变器再转换成高频方波或高频脉冲。方波或脉冲再经稳压，成为直流输出，由于变压器的匝数比而导致输出电压和输入电压不同。图中所示开关电源需要用于高频变压器的磁芯，有时需要用于驱动器部分的磁芯，还可能需要用于电流互感器的磁芯。

图 7 是交换式回扫稳压器的示意图，它是逆变器的典型附件。输入是未稳压直流电，由开关晶体管转换成脉冲电流。

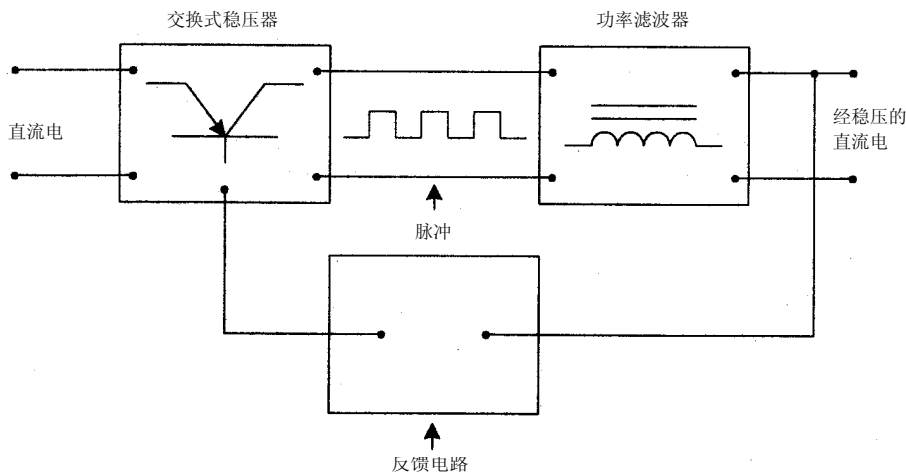


图 7: 交换式稳压器示意图

脉冲经过功率滤波器后成为直流电，电压比输入电压低。反馈电路使晶体管缩短或延长脉冲，从而使输出电压在负载变化时保持稳定，最终实现稳压。

图 8 是电磁干扰滤波器部分，它也是逆变器的附件。它包含用于共模滤波器和串联滤波器的磁芯。

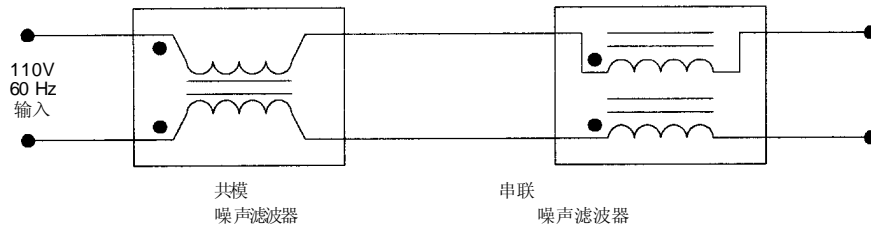


图 8: 电磁干扰滤波器示意图。

此类滤波器通常需要 (1) 防止逆变器产生的噪声进入功率线路, (2) 防止噪声经功率线路进入电源。

功率变压器

图 6 的电路可以是推挽式或桥式这样的双晶体管型电路, 也可以是回扫变换器或正向变换器这样的单晶体管型电路。

图 6 中使用的磁芯可以采用多种形状和尺寸, 材料也多种多样。选择材料和设计最终的变压器都不简单。这些工作要考虑电路类型、工作频率、期望的输出功率、环境温度、占空系数以及许多其他因素。

变压器磁芯材料主要是铁氧体、磁粉芯和绕带磁芯材料。因由于频率为 60 Hz 到 20 kHz 时绕带磁芯材料的磁感应强度最高, 从而可制造出最小的变压器, 所以绕带磁芯材料通常用于频率为 60 Hz 到 20 kHz 的场合。频率高于 20 kHz 时, 铁氧体磁芯由于损耗低以及可制成多种形状, 所以铁氧体磁芯很适合频率高于 20 kHz 的场合。但是在频率为 20 kHz 左右时, 两种材料都可使用, 此时根据具体情况决定使用何种材料。如果要求可靠性高或存在较大温度变化, 那么最好使用绕带磁芯。如果低损耗很关键, 那么就要使用铁氧体。磁粉芯可用于从低频直到 300 kHz 的场合, 但是不能用于需要有隙结构的电路, 比如回扫变换器或升降压变换器。

逆变器频率越高, 磁芯损耗在设计中的重要性就越高。此时, 变压器的设计目标不是去利用磁芯的最大磁感应强度, 而是要使磁芯损耗保持最小。20 kHz 时, 无论使用铁氧体还是绕带磁芯, 多数变压器的设计目标是工作在 2 千高斯左右, 并使损耗保持在合理水平。

反激电路的变压器磁芯要求磁芯有气隙, 从而使变压器不会因流经绕组的直流电流饱和。绕带磁芯和铁氧体磁芯也可以有气隙。环形磁粉芯因为有分布式气隙, 所以最常用。如上所述, 根据使用场合的频率可确定应选择绕带磁芯还是铁氧体, 而磁粉芯用在 300 kHz 及更高频率的场合。

图 6 还有一个与主变压器次级线圈串联的小电感器。这个磁芯用作电流互感器, 目的是测量装置输出, 或检测由于变压器不平衡而在输出引线中产生的差异。铁氧体环形磁芯最常用于此类变压器。

变压器在此位置还经常用于控制输出电流。这里可以使用铁氧体环形磁芯, 但小型绕带磁芯更常用于磁放大电路。

交换式稳压器

图 7 的交换式稳压器包含功率电感器。因为有大直流电流通过其绕组，所以磁芯必须有大气隙，从而防止电感器饱和。此处所用磁芯是间隙铁氧体磁芯或磁粉芯。

因为电流波形一般仅有很小纹波，所以磁芯中的交流磁通变化很小。因此可以使用铁粉芯和硅钢片。这两种磁芯比上述所有磁芯都便宜，但是磁芯损耗却高得多，所以设计此类装置时一定要避免电感器过热，并要注意不要对其他元件造成损害。

设计功率电感器时的另一革新是使用变感扼流圈。在一些交换式稳压器和反激设计中，希望在输出电流小时防止电流变成负方向。所以，如果电感在直流电流小时能够较大，而在直流电流大时又能减小，这样就会非常方便。

电磁干扰滤波器

在图 8（电磁干扰滤波器）中，用于共模滤波器的磁芯主要是高磁导率环形磁芯。这里磁芯上绕制的是双股线（使用两条导线），或两个相同的绕组，但各绕在磁芯一端。于是，两个线路电流产生的磁通互相抵消，所以线路电流大也不会使磁芯饱和。通过以上安排，如果有任何噪声企图经同相输入引线或同一方向逃出电源，都会因磁芯高阻抗而受到衰减。磁导率为 5,000（J 材料）、10,000（W 材料）和 15,000（H 材料）的铁氧体环形磁芯很常用，这是因为它们磁导率或阻抗高。

为消除和线路电流同相的噪声，必须使用串联滤波器。如果流过此类滤波器绕组的电流很大，容易导致磁芯饱和。所以磁芯必须有间隙，最好使用铁氧体磁芯或磁粉芯。

变压器设计

因为在目前市场上铁氧体更普遍些，所以可看出各种设计和频率都关注铁氧体磁芯。以下概要讨论磁粉芯设计。

变压器方程

一般通过同时解两个方程选择变压器磁芯：

方程 (1): $E = 4BNfA_c \times 10^{-8}$

其中 $E = N$ 匝上的初级电压 (伏)

$B =$ 磁芯峰值磁感应强度 (高斯)

$N =$ 匝数

$f =$ 频率 (Hz)

$A_c =$ 磁芯有效截面积 (cm^2)

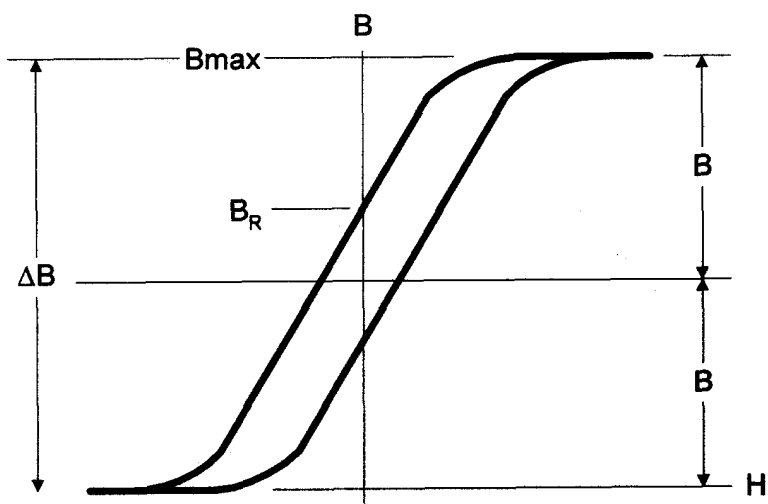


图 10: 磁滞回线

注：方程（1）中的 B 是有效磁感应强度值，如图 10 的磁滞回线所示。实际 ΔB 是 B 值的两倍，方程（1）已考虑到这一点。

方程（2） $KW_A = A_w N$
 其中 K = 绕组因数
 W_A = 磁芯绕制面积
 A_w = 所用导线截面积（圆密尔）
 N = 匝数

解方程（1）和（2），得

$$\text{方程（3） } W_A A_c = \frac{A_w E \times 10^8}{4BKf}$$

$W_A A_c$ 是一个系数，它表示磁芯的功率吞吐量。通过方程（3），不考虑工作条件就能选择磁芯尺寸。

推挽电路

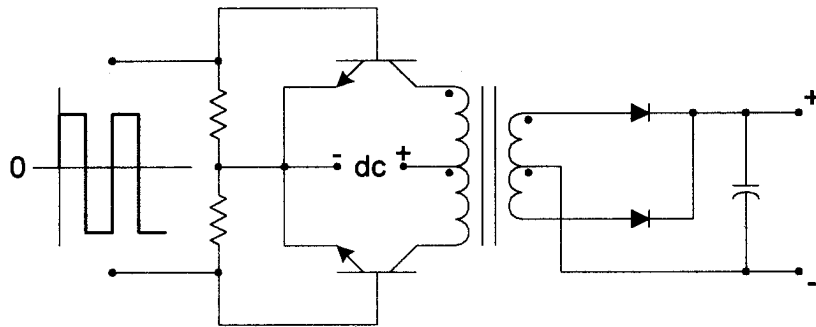


图 11：典型推挽式 SPS 电路

图 11 是典型推挽电路。输入信号是 IC 网络的输出或时钟信号，它使晶体管交替处于开关状态。晶体管输出的高频方波随后接受整流，成为直流电。

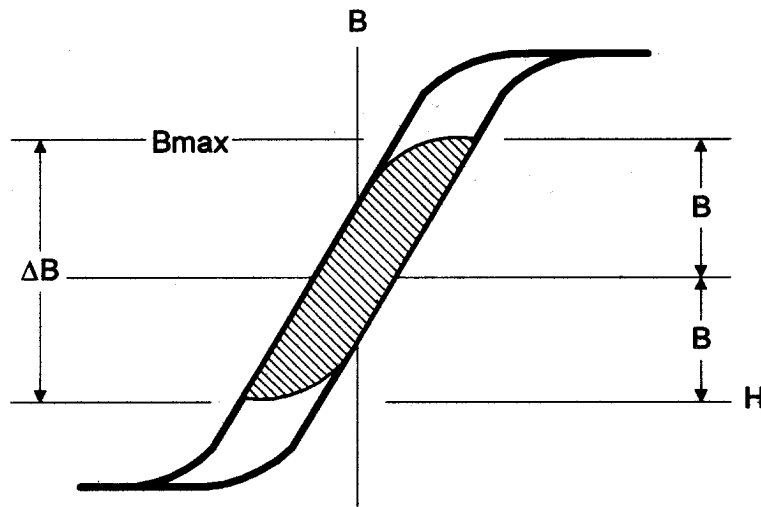


图 12：推挽电路磁芯的磁滞回线

对于工作于 20 kHz 的铁氧体变压器，通常使用方程 (3)，其中磁感应强度 (B) 最大为 2 kGs。如图 12 磁滞回线的阴影部分所示。

之所以选择 B 等级，是因为选择在此频率下工作的磁芯时限制因素是磁芯损耗。在 20 kHz 下，如果变压器的磁感应强度接近饱和（象低频时那样），那么磁芯会产生过大温升。因此，2 kGs 这样的较低工作磁感应强度通常可限制磁芯损耗，从而使磁芯只产生适度温升。

高于 20 kHz 时，磁芯损耗大幅上升。为了设计出工作频率更高的开关电源，必须使磁芯磁感应强度平低于 2 kGs。图 13 说明 **MAGNETICS** 功率材料磁通如何减小，只有磁通逐渐减小，才能在各种频率下保持恒定磁芯损耗，从而限制温升。在此图的情况下，磁芯损耗密度限制为 100 mW/cm³，这样可以使中等大小磁芯保持大约 40°C 温升。

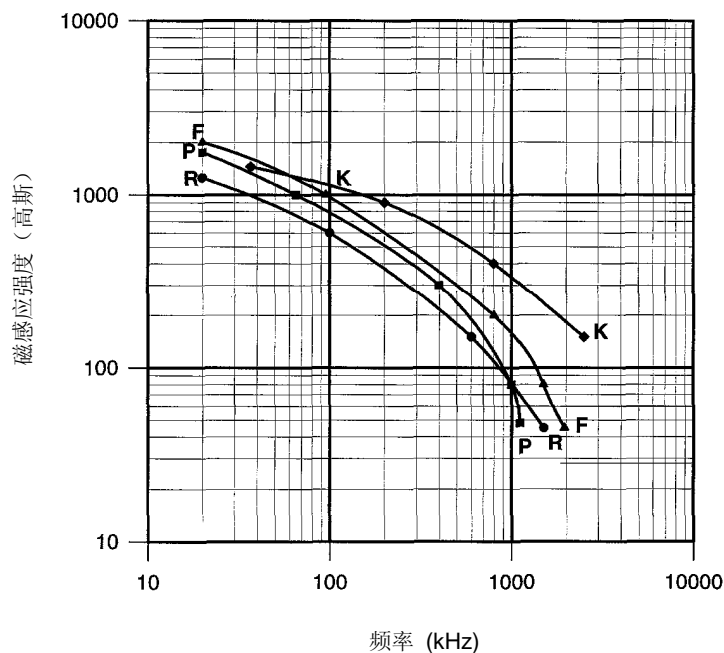


图 13: 磁感应强度—频率特性

为简化磁芯选择，不使用方程（3）和上述限制条件，而是使用图 14 所示图表。

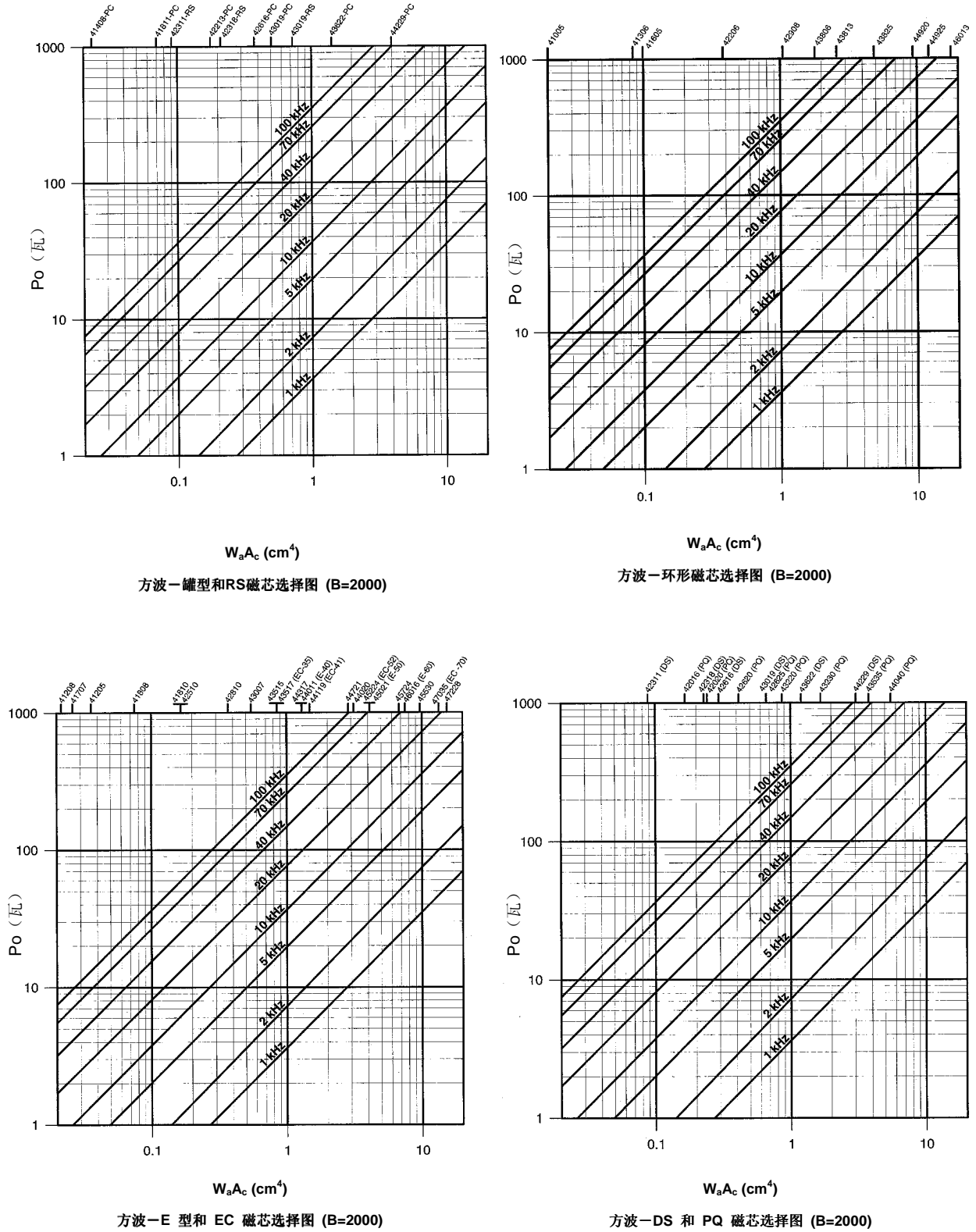


图 14: $P_o - W_a A_c$

图 14 中的图表是各种频率下的输出功率—磁芯尺寸图。通过确定所需输出功率来选择磁芯。在图 14 中选择一张图表，找到输出功率和工作频率线的交点，此点的垂直投影就是应使用的磁芯。如果此点的垂直投影在两个磁芯之间，那么选择较大那个。例如，如果变压器在 20 kHz 时输出功率为 20 瓦，使用罐型铁氧体磁芯，按上述步骤，罐型磁芯的尺寸应在 423 18-UG 到 42616-UG 之间。在此例中，选择较大磁芯（42616-UG）较好。

高于 20 kHz 时，选择过程有所变化，如下所述。首先标出水平线（表示期望输出功率）和工作频率的交点。过此交点的垂直线和水平轴（标有合适的 $W_A A_C$ ）相交。但此因数的条件是 $B=\pm 2\text{kGs}$ ，所以，由于所推荐工作频率的磁感应强度（参见图 13）减小，必须根据磁感应强度相应成比例增大此因数。使用在图上重新选择的 $W_A A_C$ 因数，通过此点的垂直线指明了应使用的磁芯。

在以上例子（输出为 20 瓦）中，如果磁芯工作在 50 kHz，那么根据图表，应选择 $W_A A_C$ 为 0.023×10^6 圆密尔· cm^2 的罐型磁芯。但是，图 13 说明 50 kHz 时磁感应强度必须降至 1300 高斯。所以，比率 $\frac{W_A A_C \text{ at } 20 \text{ KHz}}{W_A A_C \text{ at } 50 \text{ KHz}} = \frac{2000}{1300} = 1.54$ 。50 kHz 时的新 $W_A A_C$ 必须是 $0.023 \times 1.54 \times 10^6$ 或 0.035×10^6 图中较大 $W_A A_C$ 值对应的是 42213-UG 罐型磁芯。

前馈电路

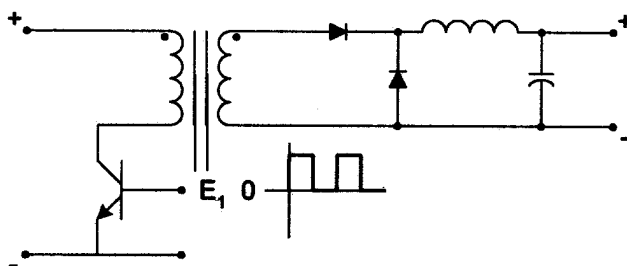


图 15：典型前馈 SPS 电路

在图 15 所示前馈电路中，变压器工作于磁滞回线第一象限部分。施加于半导体装置的单极脉冲使变压器磁芯受到激励，磁芯从 B_R 值向饱和转变。脉冲消失后，磁芯返回 B_R 值。为了保持高效，使初级电感保持较高，从而减小磁化电流以及降低导线损耗。这意味着磁芯气隙应为零或尽量小。

对于此电路中使用的铁氧体， ΔB （或 B_{max} ）通常为 2400 高斯，或 B （如方程 3 所用）为 ± 1200 高斯，如图 16 所示。在推挽式电路中，建议不要使磁芯峰值磁感应强度超过 $B=\pm 2000$ 高斯，这样可以保持磁芯损耗较小。由于受磁滞回线限制，前馈电路中的磁芯峰值磁感应强度不应大于 $B=\pm 1200$ 高斯。

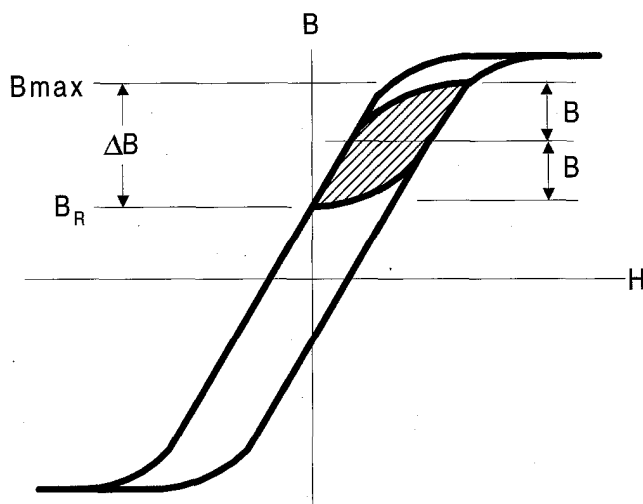


图 16: 前馈电路磁芯的磁滞回线

为前馈电路选择磁芯和推挽电路相似，只是方程 3 所用 B 现在限制为 ± 1200 高斯内。如果使用图 14 的图表，从适当图表中选择 $W_A A_C$ ，然后增大 $\frac{2000}{1200} = 1.67$ 倍。

如果变压器工作温度高于 75°C ， B 应进一步减小。图 17 说明 ΔB 随温度的变化。因此，推荐的 ΔB 值（ 2400 ($B=\pm 1200$) 高斯) 必须减小，减小量取决于装置的最终设计温升。

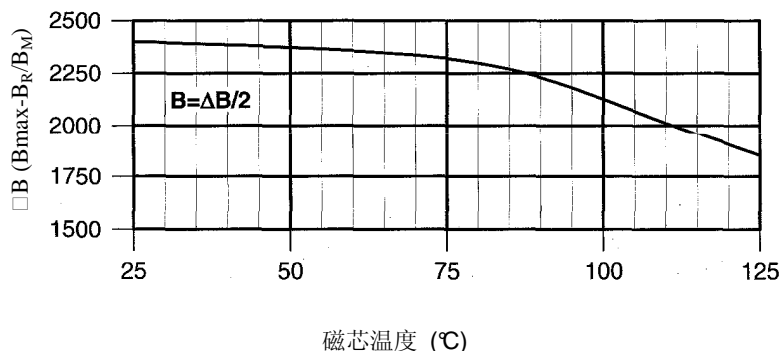


图 17: 温度较高时的推荐 ΔB

ΔB 值在大于 20 kHz 的广大频率范围内几乎保持不变。但是，在某些频率下，经调整的 B 值（如图 13 所示）会小于以上通过考虑温度因素获得的 B 值（图 17）。高于此频率时，应从图 13 获得用于选择磁芯的 B 值。

回扫电路

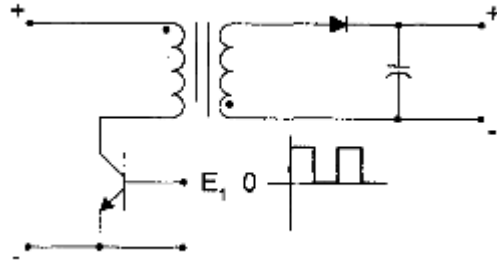


图 18: 典型回扫稳压器电路

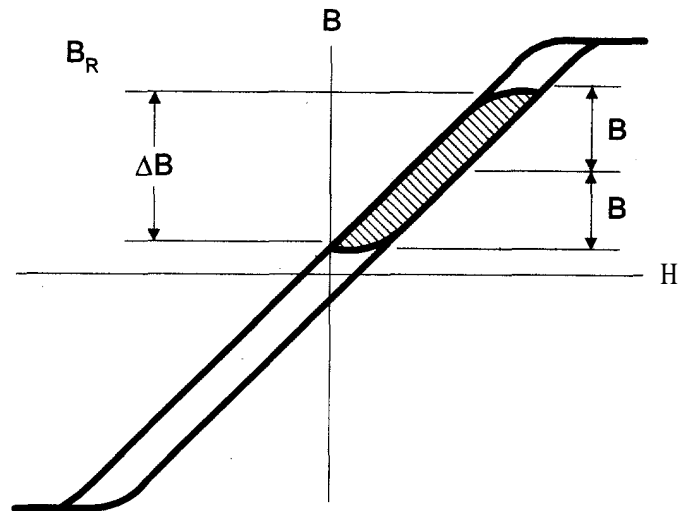


图 19: 回扫电路磁芯的磁滞回线

图 18 是典型示意图。单极脉冲使直流电通过磁芯绕组，使磁芯磁通从 B_R 向饱和变化。脉冲消失后，磁通返回至 B_R ，这和前馈电路一样。但是，前馈电路和回扫电路的区别在于回扫电路要求变压器充当储能装置。磁芯一定不能饱和，并且一般采用有间隙结构。

在多数设计中气隙较大，因此 B_R 较小（如图 22 的磁滞回线所示），而且可认为是零。可获得的最大磁感应强度约为 3600 高斯。也就是说 ΔB 为 3600 或 $B = \pm 1800$ 高斯。为这种电路选择磁芯时也能用方程 3 或图 14 的图表，方法如前所述。20 kHz 时方程 3 中的 B 值为 ± 1800 高斯，除非选择用较高的工作频率，就可用较低的 B 值（图 13）。

还有一个要求，那就是磁芯必须能储存次级绕组所需能量。由于这样会要求不同的磁芯尺寸，所以有必要兼顾这两种要求，然后选择较大磁芯。由下式确定储存的能量：

$$ES = 1/2 LI^2 \quad \text{方程 (4)}$$

其中 ES 是储存的能量 (焦耳)
L 是最大电流要求的电感 (亨)
I 是最大直流电流 (安培)

可凭借这些信息利用汉纳曲线来选择铁氧体磁芯。由电流和电感值可确定磁芯和气隙。**MAGNETICS** 还为有间隙磁芯提供一系列 LI^2-A_L 曲线, 这使选择磁芯和气隙更加方便。

钕坡莫合金磁粉芯和铁硅铝磁芯也是回扫电路的理想磁芯。这两种磁芯可以制成环形, 而且因为有分布式气隙, 所以预先就是有间隙的。因为它们的居里温度高, 所以非常适于军用, 但也用于一般商业用途。如果要求装置体积小或变压器电磁干扰必须尽可能的小, 这些情况下它们更为适用。

为回扫变压器选择钕坡莫合金磁粉芯或铁硅铝磁芯时, 决定因素是能量储存要求, 选择方法和铁氧体磁芯类似。**MAGNETICS** 公布了 LI^2 -磁芯尺寸曲线。可利用这些曲线为变压器选择合适磁芯。

在 300 kHz 以下, 钕坡莫合金磁粉芯或铁硅铝磁芯很适于用作储能元件, 而且不会有过大温升。高于 300 kHz 时, 如果降低磁感应强度, 它们仍然适用。

磁芯损耗

由于需要工作于 20 kHz 或更高频率的高功率变压器, 而且磁芯损耗成为设计时的限制因素, 所以非常有必要考虑设备工作温度下的磁芯损耗。优化设计时, 最好使变压器的工作温度高于环境温度。许多早期铁氧体磁芯损耗随温度升高而增大, 但新材料的磁芯损耗随温度的升高

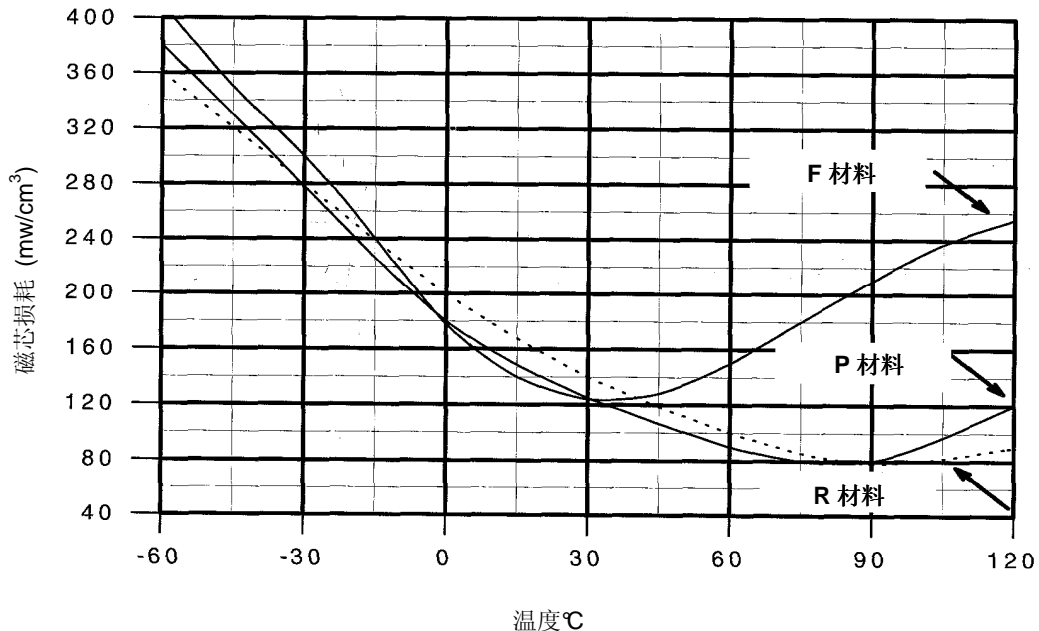


图 20: 铁氧体材料的磁芯损耗—温度曲线

如前面所述，设计高频变压器时，在所要考虑的因素中，磁芯损耗占主要地位。表 4 比较了多种材料在磁感应强度为 2000 高斯且频率为 25 kHz 时的磁芯损耗。应注意，如果是小规格，坡莫合金绕带磁芯的磁芯损耗比其他材料优越，但也更为昂贵。

表 4: 各种磁芯材料的磁芯损耗，单位是 mW/cm³
测试条件：B=2,000高斯，f=25 kHz。

铁氧体 “P” (室温)	105
铁氧体 “P” (80°C)	75
铁氧体 “R” (室温)	140
铁氧体 “R” (100°C)	70
1 密尔坡莫合金	144
1/2 密尔坡莫合金	111
金属玻璃 2605SC	366
金属玻璃 2714A	36

功率电感器设计

为了设计功率电感器，必须知道要求的电感和流经线圈的峰值电流。如果电流的交流成分较小，可将其忽略，而峰值电流就是最大直流电流。如果交流成分较大，则要计算交流成分的峰值电流，然后与直流电流相加，从而得到流经线圈的峰值电流。

MAGNETICS 已为功率电感器设计了图表，这些图表有助于选择铁氧体磁芯及其气隙，也有助于选择坡莫合金磁粉芯。请参见图 22(a) 和 22(b) (第 19 页)。要使用这些图表时，首先要计算 LI^2 (毫亨 x 安培²)，然后使用图表选择磁芯。

MAGNETICS 技术公报 SR-1 详细说明了使用这些图设计电感器的过程和例子。

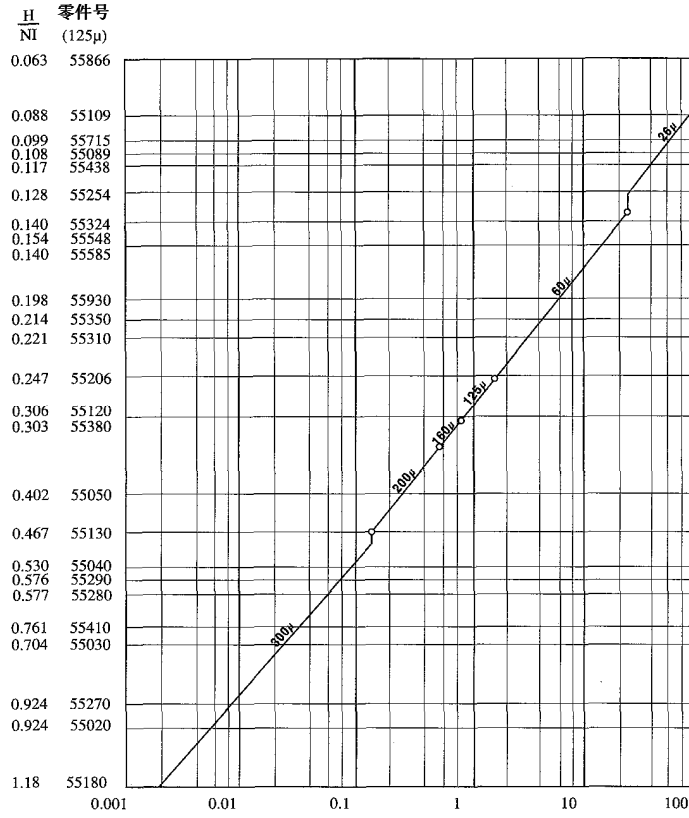


图 22(a): 钼坡莫合金直流偏置磁芯选择图

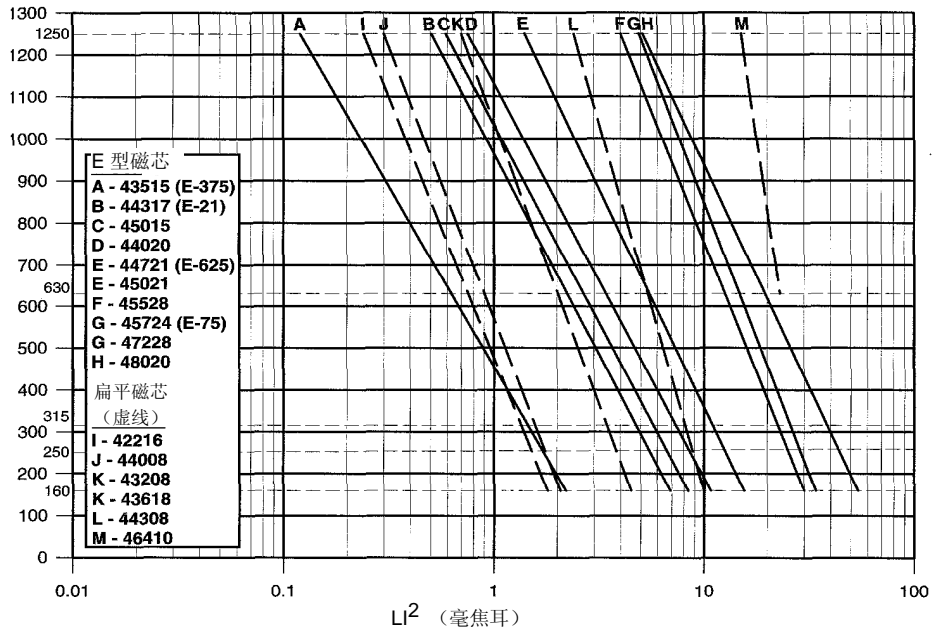


图 22(b): 铁氧体直流偏置磁芯选择图

MAGNETICS 铁氧体产品目录 FC-601 中有整套此类图表。

总结

为开关电源磁芯选择材料、形状和尺寸并不简单。本文希望能为工程师提供足够的背景材料，至少在为特定的设计选择最具成本效率的磁芯时，能为他们指出正确方向。其他细节可参阅正文或简介中提及的 **MAGNETICS** 资料和软件。

除了有合格的销售人员，我们的工程应用部门人员充足，专注于提供产品服务，比如提供原型样品和产品参数，可随时为您提供咨询。



Magnetics, A Division of Spang & Co.

总公司

美国宾夕法尼亚州匹兹堡

11422 号邮箱, 15238

电话: +1 412 696 1333

传真: +1 412 696 0333

免费电话: 1 800 245 3984

电子信箱: magnetics@spang.com

亚洲销售和服务中心

中國香港

电话: +852 3102 9337

传真: +852 3585 1482

电子信箱: asiasales@spang.com

网站: www.mag-inc.com

钼坡莫合金磁粉芯 • 高磁通磁粉芯

铁硅铝 (Kool Mu) 磁粉芯

绕带磁芯 • 骨架磁芯

铁氧体磁芯

定制元件