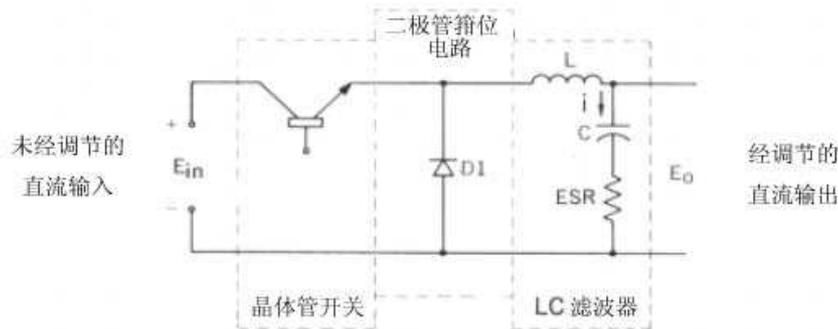


# 交换式稳压器的电感器设计

由于效率高、尺寸小、成本低，交换式稳压器不失为一种将未滤波的直流输入电压转换成经调节的直流输出的好方法。本技术公报说明并介绍了交换式稳压器及相关设计资料。尤其着重介绍了用于功率电感器的 MAGNETICS<sup>®</sup> 铁氧体和钼坡莫合金磁粉芯。

## 描述



典型电路包括以下三个部分：晶体管开关、二极管箝位电路和一个 LC 滤波器。将未经调节的直流电压施加于工作频率通常为 1 到 50 千赫的晶体管开关上。当开关打开的时候，LC 滤波器的输入电压  $E_{in}$  使得通过电感器的电流增加，并将多余的能量储存于电感器和电容器中，以在开关关断期间维持输出功率。通过调整晶体管开关的导通时间  $t_{on}$  并采用输出反馈系统来完成调节。最后形成经调节的直流输出，式子表达为：

$$E_{out} = E_{in} t_{on} f$$

## 部件选择

本交换式系统由一个晶体管和一个稳压器输出反馈装置所组成。晶体管选择包括两个因素-- (1) 额定电压应大于最大的输入电压, (2) 频率截止特性必须与实际切换频率高度一致以确保有效操作。反馈电路通常包括运算放大器和比较器。对二极管箝位电路的要求应与晶体管一致。LC 滤波器级的设计很容易完成。只要给定了 (1) 最大和最小输入电压、(2) 所需的输出、(3) 最大允许纹波电压、(4) 最大和最小负载电流、(5) 所需切换频率, 就可以算出电感和电容值。首先, 计算晶体管的关断时间 ( $t_{off}$ )。

$$t_{off} = (1 - E_{out}/E_{in \max}) / f \quad (2)$$

当  $E_{in}$  减少到最小值时,

$$f_{\min} = (1 - E_{out}/E_{in \min}) / t_{off} \quad (3)$$

再利用这些已知值, 所需的  $L$  和  $C$  就可以计算得出。

通过下式可以得出流过电感器的峰到峰纹波电流 ( $\Delta i$ ):

$$\Delta i = 2 \cdot I_{o \min} \quad (4)$$

电感使用下式进行计算

$$L = E_{out} t_{off} / \Delta i \quad (5)$$

计算出来的  $\Delta i$  值不够精确, 要经过调整才能得到用于计算电感的实际值。

最低电容由下式计算得出

$$C = \Delta i / 8f \min \Delta e_o \quad (6)$$

最后, 电容器的最大 ESR 为

$$ESR_{\max} = \Delta e_o / \Delta i \quad (7)$$

## 电感器设计

交换式稳压器中的电感器一般使用两种不同类型的磁芯材料: 粉末磁芯和铁氧体磁芯。由于设计人员必须考虑诸如成本、体积、大小、空间限制和绕组性能等因素, 因此很难在两种材料中进行取舍。每种类型的材料都具有如下所述的优势:

**MAGNETICS** 磁粉芯采用分布式气隙结构, 使得它们比较适宜用于制作交换式稳压器。该结构可提供软饱和特性, 从而获得很多设计上的好处, 包括更小的总磁芯尺寸和过电流保护。它同样也可以减轻在使用离散气隙设计时可能产生的边缘磁通问题。磁粉芯的直流偏置特性使得它们可在高激励电平下使用, 而不会饱和。这三种不同的材料在使用时为环形: 钕坡莫合金 (*MPP-400 技术公报*)、高磁通 (*HFC-1.1 技术公报*) 和铁硅铝 (*Kool Mu<sup>®</sup>*) (*KMC 2.0 技术公报*)。铁硅铝材料还可以有 E 型磁芯 (*KMC E1 技术公报*)。广泛的尺寸和磁导率可以满足不同应用的需要。

铁氧体磁芯在高频条件下具有低成本和低磁芯损耗的优势。由于功率铁氧体材料 ( $F$ 、 $P$ 、 $R$  和  $K$ ) 的低磁芯损耗和直流偏置特性, 因此推荐将其用于交换式稳压器。通过给这些铁氧体形状增加离散气隙, 这些磁芯都可高效地使用, 同时避免饱和。我们可制造不同尺寸和形状的产品以适应不同的需要。大部分零件还提供骨架。**MAGNETICS** 铁氧体磁芯产品目录 *FC-601* 已进行相关的详细说明。

## 磁芯选择程序

本磁芯选择程序简化了用于交换式稳压器的电感器设计。

**对于磁粉芯:**

假定电感的最大降低幅度为 50%, 导线的载流量为 500 圆密耳/安培, 我们可以确定最小的磁芯尺寸。

只需知道设计应用的两个参数：

- (1) 直流偏置所需的电感，
- (2) 直流电流。

本公报中的示例主要采用**钼坡莫合金磁粉芯**。但是，本设计程序可用于任何类型的磁粉芯，包括铁硅铝（Kool M $\mu$ ）E 型磁芯。只需参考相关产品目录中的设计图表和数据，即可获得所选择的材料和形状。

1. 计算  $LI^2$  的乘积，其中：

$L$ =直流偏置所需最小电感（毫亨）

$I$ =最大直流输出电流= $I_{0\max} + \Delta i$ 。

2. 在磁芯选择图上找到  $LI^2$  值。

根据第 5 页上的钼坡莫合金直流偏置磁芯选择图，将能快速得出用于大多数交换式稳压器的最佳磁导率和最小磁芯尺寸。本选择图的依据是，关于直流偏置的磁导率降低不超过 50%，典型绕组因数为 40%。沿着该坐标找到与位于磁导率实线上的首选磁芯尺寸的交点。该磁芯尺寸为可以使用的最小尺寸。

3. 该坐标的最佳磁导率可从磁导率实线上读出。对于给出  $LI^2$  值的大多数应用，所示的磁导率将获得可能实现的最小磁芯尺寸。这是因为对于磁导率较高的磁芯，其直流偏置下降较快，而对于磁导率较低的磁芯，则需要附加绕组，两者之间进行折衷便可获得以上结果。
4. 现在我们已经知道电感、磁芯尺寸和磁导率了。从**技术公报MPP-400**中就可以获得  $A_L$ （毫亨/1000 匝）。通过本资料，可以计算用于获得所需电感度的匝数。由于存在直流偏置下降，需对此数量值进行调整。该调整方法在每个磁粉芯产品目录中都有说明。
5. 通过产品目录中的导线选择表可选择合适的线径。

#### 对于铁氧体磁芯：

1. 计算  $LI^2$  的乘积，其中：

$L$ =直流偏置所需的最小电感（毫亨）

$I$ =最大直流输出电流= $I_{0\max} + \Delta i$ 。

2. 在本公报第 6 页和第 7 页上的铁氧体磁芯选择图上找到  $LI^2$  值（铁氧体磁芯产品目录 FC-601 上也有）。沿着该坐标找到与所选铁氧体形状的首选磁芯尺寸曲线的交点。在 Y 轴上读出最大标称电感值（ $A_L$ ）。这表示可以避免饱和的最小磁芯尺寸和最大  $A_L$  值。

3. 只要磁芯的  $A_L$  值小于从图中获得的最大值，与  $LI^2$  坐标相交的任何磁芯尺寸线就都代表可用于电感器的磁芯。应记住，有间隙的铁氧体磁芯的  $A_L$  值应满足公差范围，因此该公差范围的上限应确保不会高于从图中获得的  $A_L$  值。

4. 这样我们就已经获得了所需电感  $L$ 、磁芯尺寸和磁芯标称电感（ $A_L$ ）。然后我们就可以使用以下公式来计算匝数了：

$$N = 1000 \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

本公式中  $L$  的单位为毫亨。

5. 在使用 500 圆密耳/安培的**技术公报FC-601** 内的导线选择表中选定线径。

#### 选择磁粉芯材料

尽管本公报的示例使用钼坡莫合金和铁氧体磁芯，但是 **MAGNETICS** 铁硅铝（Kool M $\mu$ ）和高磁通磁粉芯同样可应用于电感器。铁硅铝（Kool M $\mu$ ）磁芯相对于其他三种类型更具有经济优势。铁硅铝（Kool M $\mu$ ）E 型磁芯形状可替代传统的环状磁粉芯，以方便绕组方面的考虑。高磁通磁芯提供最强的储能能力，这使得饱和度成为制约因素时可使用最小的磁芯尺寸。钼坡莫合金磁芯提供更多的选择，并且是所有磁粉芯中磁芯损耗最低的一种。根据特定的电路要求和温度考虑等条件，我们就可以使用具有大小和其他优势的一种材料来替代另一种材料。在第 5 页上列出钼坡莫合金磁芯  $LI^2$  值的详细图表，高磁通和铁硅铝（Kool M $\mu$ ）环形磁芯  $LI^2$  图则显示于相关产品目录上。欲知详情，请参考相关**技术公报**。

# 设计范例

根据以下要求选定用于交换式稳压器的磁芯:

- $E_o = 5$  伏
- $\Delta e_o = 0.5$  伏
- $I_o \text{ max} = 6$  安培
- $I_o \text{ min} = 1$  安培
- $E_{in \text{ min}} = 25$  伏
- $E_{in \text{ max}} = 35$  伏
- $f = 20$  千赫兹

- 使用公式 2 和 3 来计算晶体管开关的关断时间和最小切换频率  $f_{min}$ 。

$$t_{off} = (1 - 5/35)/20,000 = 4.3 \times 10^{-5} \text{ 秒}$$

以及

$$f_{min} = (1 - 5/25)/4.3 \times 10^{-5} \text{ 秒} = 18,700 \text{ Hz.}$$

- 流过电感器的最大纹波电流  $\Delta i$  则使用公式 4 进行计算

$$\Delta i = 2(1) = 2 \text{ 安培.}$$

- L 使用公式 5 进行计算。

$$L = 5(4.3 \times 10^{-5}) / 2 = .107 \text{ 毫亨}$$

- C 和  $ESR_{max}$  使用公式 6 和公式 7 进行计算。

$$C = 2/8(18700)(.5) = 26.7 \mu \text{ 法拉, 且}$$

$$ESR_{max} = .5/2 = .25 \text{ 欧姆}$$

- 乘积  $LI^2 = (.107)(8)^2 = 6.9$  毫焦耳

## 钼坡莫合金粉芯设计

- 在磁芯选择图上找到 6.9 毫焦耳对应的  $LI^2$  值。沿着该值找到与位于磁导率曲线之上的首选磁芯尺寸的交点，可以给出磁芯尺寸编号为 55585。（注意该图中的这部分零件号属于 125 $\mu$ ）。
- 6.9 坐标位于 60 $\mu$  部分。与 55585 磁芯尺寸一致的 60 $\mu$  磁芯为 55586-A2 磁芯（请参见钼坡莫合金粉芯产品目录 MPP-400）。

- 55586-A2 磁芯的最小电感为 34.96 毫亨 /1000 匝（标称电感为 38 +/- 8% 毫亨/1000 匝）。在不考虑直流偏置的情况下要达到最小 0.107 毫亨所需的匝数为  $1000 \times (0.107/34.96)^{1/2} = 56$ 。

- 磁粉芯具有软饱和性质。在直流偏置电流增加的时候，它具有逐渐减小磁导率（电感）的效果。因此，为在指定 8 安培直流偏置下达到最小的 0.107 毫亨电感值，需要另外增加线匝。确定附加匝数的程序在每个 MAGNETICS 磁粉芯产品目录中已有说明。通过此程序，在考虑到存在直流偏置的前提下，所需的最终匝数为 68。

- 使用 500 圆密耳/安培时，应选择 AWG 14 号线径。

带 68 匝 AWG14 线的 55586-A2 磁芯可以满足设计的需要。

## 铁氧体磁芯设计

- 由于铁氧体的诸多形状，我们可以有很多选择。如果没有超过最大  $A_L$  值的话，就可以使用  $LI^2$  坐标交点上的任何磁芯尺寸。沿着  $LI^2$  坐标，可以有 5 个选择：

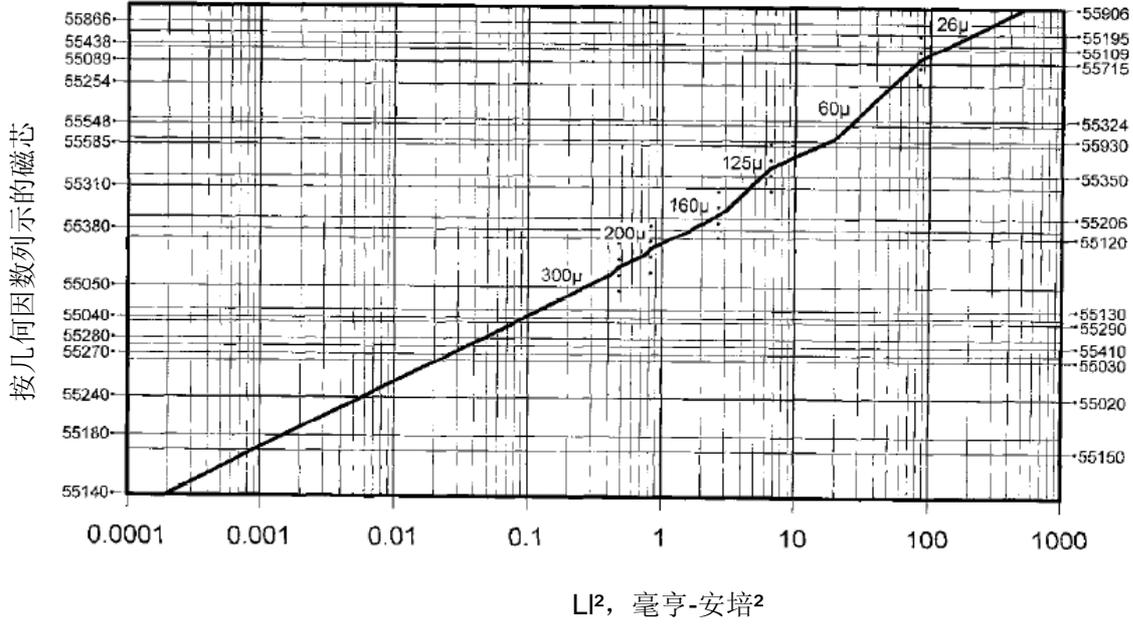
(a) 43230 (PQ 磁芯)	$A_L$ 270
(b) 43622 (罐形磁芯)	$A_L$ 200
(c) 44229 (固体中柱磁芯)	$A_L$ 450
(d) 45015 (E 型磁芯)	$A_L$ 350
(e) 45224 (EC52 磁芯)	$A_L$ 330

- 在给定  $A_L$  的情况下，为获得所需电感所需要的匝数为：

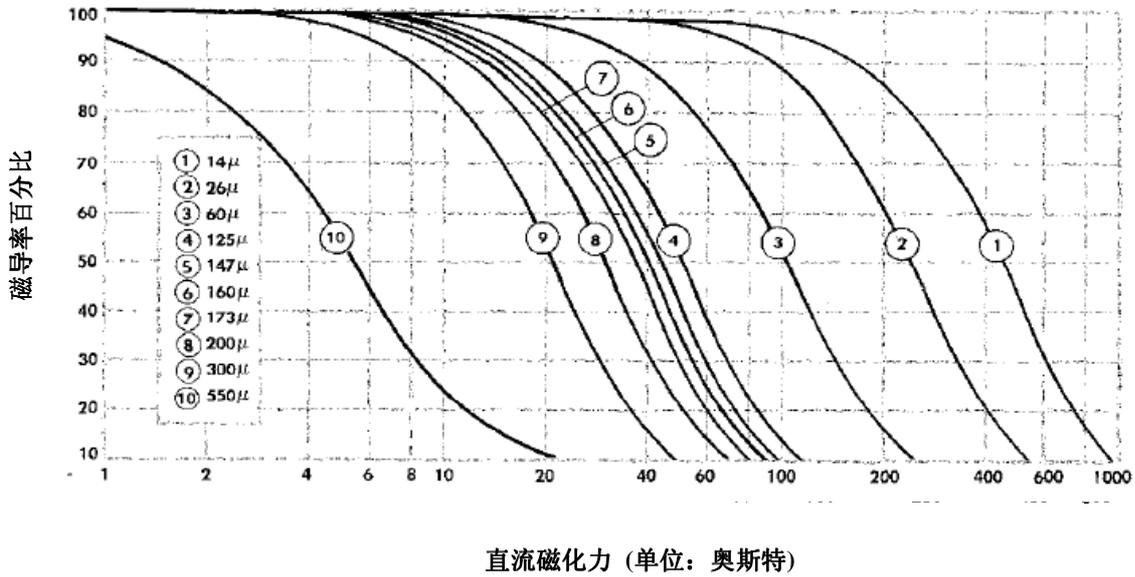
	$A_L$	匝数
(a)	270	20
(b)	200	24
(c)	450	16
(d)	350	18
(e)	330	18

- 使用 500 圆密耳/安培时，应使用 AWG 14 号线径。

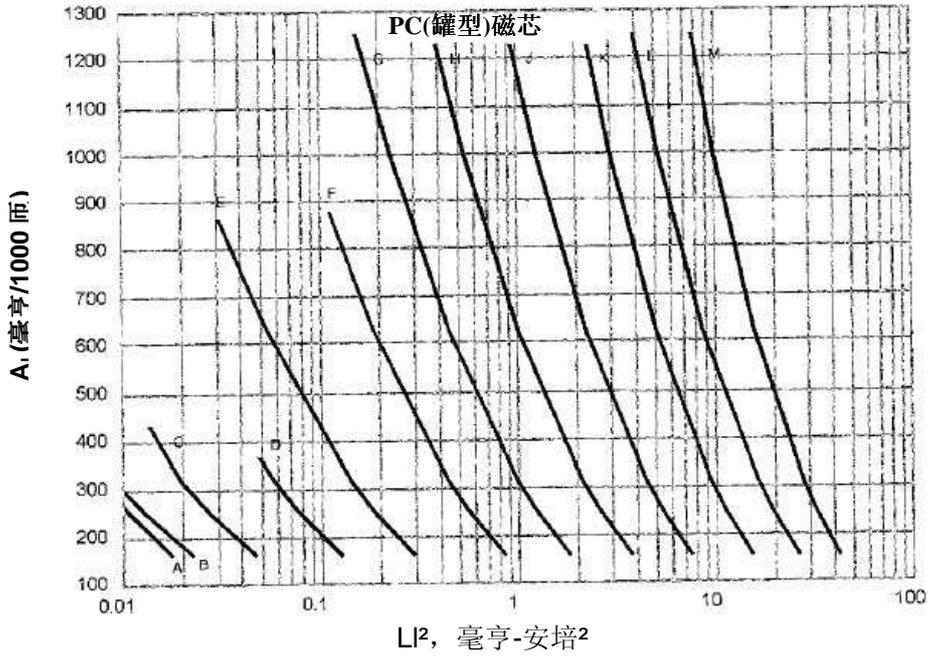
## 钼坡莫合金磁芯 直流偏置磁芯选择图



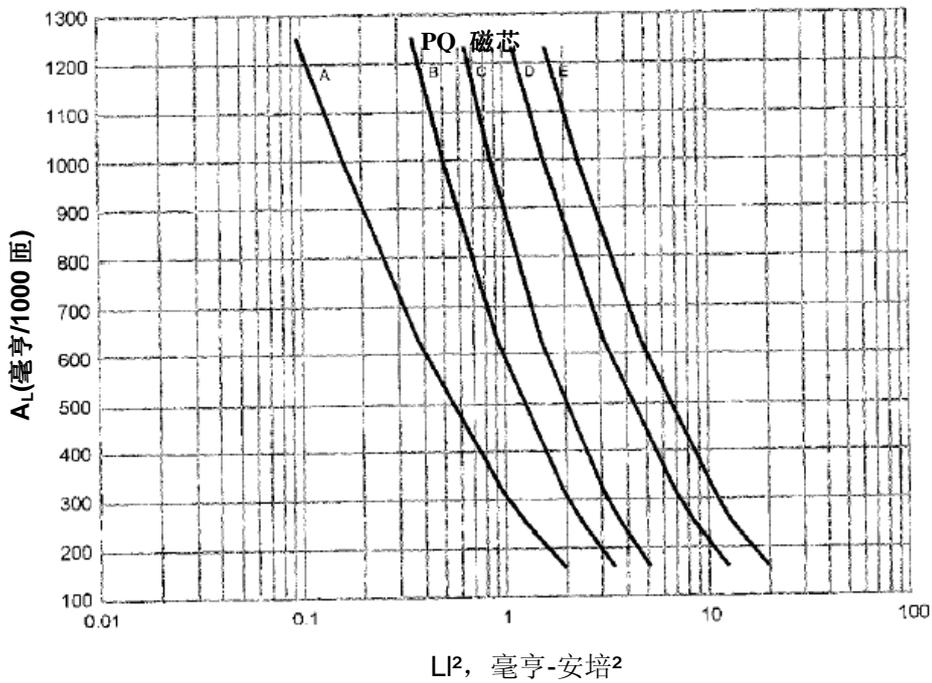
## 钼坡莫合金磁芯磁导率-直流偏置



# 铁氧体直流偏置磁芯选择图

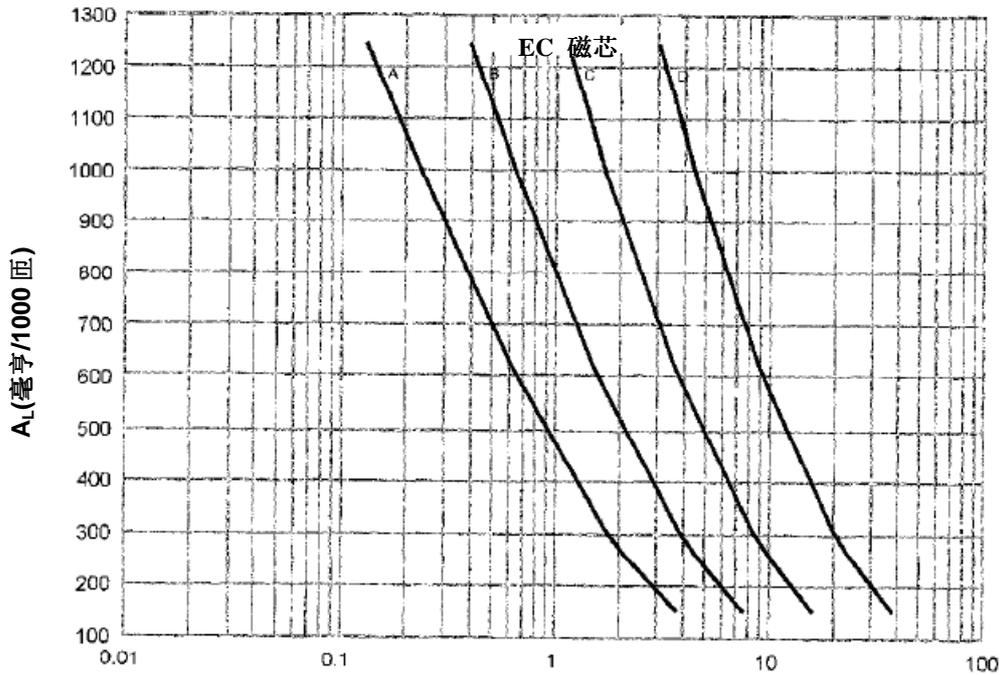


- A- 40903
- B- 40704
- C- 40905
- D- 41107
- E- 41408
- F- 41811
- G- 42213
- H- 42616
- J- 43019
- K- 43622
- L- 44229
- M- 44529



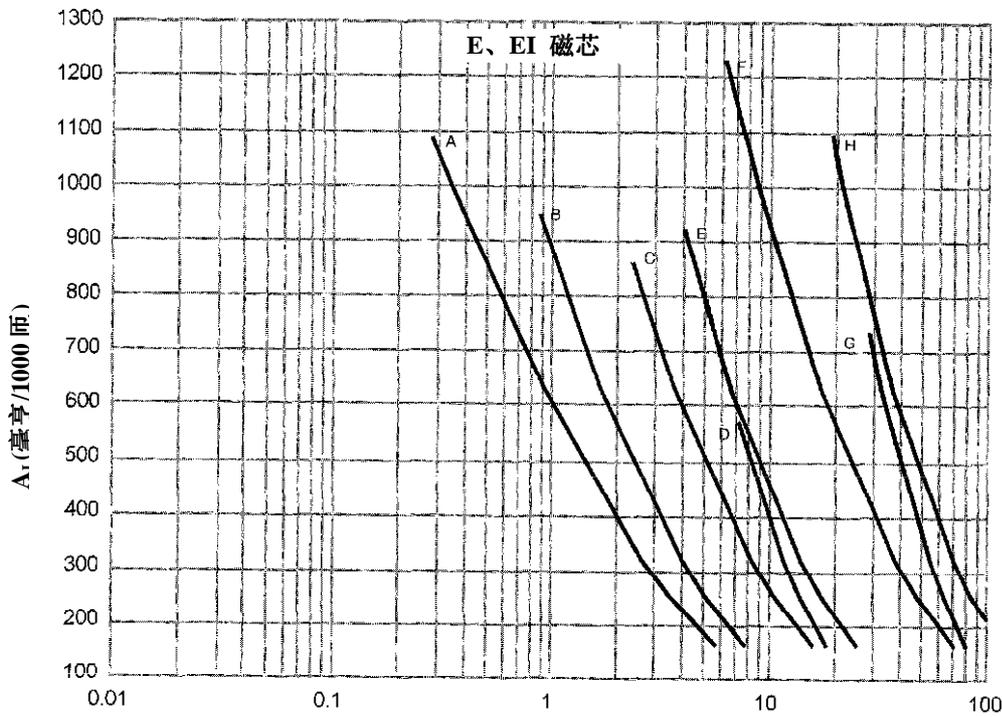
- A-42016  
42020
- B-42614
- C-42610  
42620  
42625  
43214
- D-43220  
43230
- E-43535  
44040

# 铁氧体直流偏置磁芯选择图



- A-43517
- B-44119
- C-45224
- D-47035

$LI^2$ , 毫亨-安培<sup>2</sup>



- A- 44016 (EE)
- B- 44011 (EE)
- C- 44020 (EE)
- 45015 (EE)
- D- 44308 (EE, EI)
- E- 44022 (EE)
- 44924 (EE)
- 45021 (EE)
- 46016 (EE)
- F- 45528 (EE)
- 45530 (EE)
- 47228 (EE)
- 48020 (EE)
- G- 46410 (EE)
- H- 49938 (EE, EI)

$LI^2$ , 毫亨-安培<sup>2</sup>



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](mailto: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](mailto:asiasales@spang.com)

网站: [www.mag-inc.com](http://www.mag-inc.com)

**钼坡莫合金磁粉芯 • 高磁通磁粉芯**

**铁硅铝 (Kool M $\mu$ ) 磁粉芯**

**绕带磁芯 • 骨架磁芯**

**铁氧体磁芯**

**定制元件**