

电子元器件—电感器常识资料

编制:解海鹏



□ 目录

- 基本概念及常用量
- 磁性材料的物理性能
- 磁性材料的分类及基本特性
- 电感的基本知识与分类
- 电感器的重要特性及用途
- 电感的故障检修

□ 一、基本概念：

□ 磁是一个重要的物理现象，它与其他物理现象相比较，独特之处就是它看不见、又摸不着，可在任何一个电路中，只要有电感元件的地方，就必然会有磁的存在。

□ 1、磁场：

- 在没有静电的某一空间，若一个或许多极小的铁或铁氧体微粒在无人力机械力作用下朝一个方向迅速移动，则说明这个空间有磁，那么，把这个空间或者这个场称之为磁场。
- 磁场分恒定磁场和交变磁场两大类。
- 恒定磁场是指其大小和方向都恒定的磁场。比如地球的南极与北极所呈现的地磁场；一个永久磁体的磁场；一个电感线圈通入恒定直流电流所产生的磁场等。

□ 1、磁场：

- 交变磁场是指其大小和方向随时间周期性变化的磁场。比如永久磁体以一定角频率旋转时所产生的动态磁场：一个

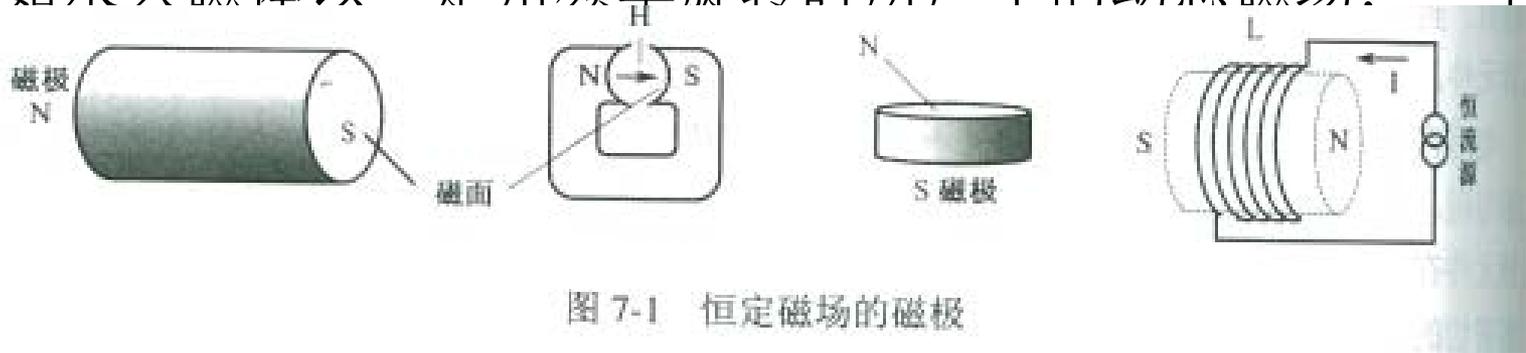


图 7-1 恒定磁场的磁极

□ 磁场的磁极与磁极面的关系

- 任何磁场均有北极（N）和南极（S）两个磁极，还有北极极面和南极极面之分：北极（N）定义为磁体外部磁场强度 H 或磁感应强度 B 离开该磁体极面的磁极；南极（S）则定义为磁体外部磁场强度 H 或磁感应强度 B 进入该磁体极面的磁极。磁极面是指有效磁通所穿过的磁体表面。

□ 磁极的特性：

- N、S磁极总是成对出现，成对消失。
- 两个以上的磁场之间的磁极具有异性相吸，同性相斥。
- 磁场的方向，永磁体外部的磁场方向永远是从北极（N）指向南极（S）。

□ 2、磁性

□ ~~磁性是磁场固有的特性，只要存在磁场，就必然具有磁性。在盛装场的作用下，一些软铁或铁氧体微粒在无任何外力作用下，会朝一个方向迅速移动。~~

□ 3、磁荷 m

□ 电荷是电量中的最小单位；同样，磁荷是磁量中的最小单位。并且磁荷与电荷一样，其点磁荷 m 也有正、负之分。磁荷也是具有异性相吸，同性相斥这个特性，但同时也产生两磁荷之间的作用力 f ，该作用力的大小。

□ 3、磁荷m

□ 其计算公式为:

□ $f = m_1 * m_2 / 4\pi\mu_0 r^2 (m_1 \neq m_2)$

□ $f = m^2 / 4\pi\mu_0 r^2 (m_1 = m_2 = m)$

□ 式中f——两个点磁荷之间的作用力（牛顿 符号N）

□ m_1, m_2 ——两个点磁荷的磁强度（韦伯 符号Wb）

□ μ_0 ——真空中的磁导率（亨得/米 符号H/m）注：
真空中的磁导率为 $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{H/m}$

□ r——两个点磁荷之间的距离（米 符号m）

□ 4、磁导率 μ

- 在工程上表示磁感应强度 B 随磁场强度 H 变化的曲线，称为基本磁化曲线，在磁化曲线任何一点的磁感应强度 B 与磁场强度 H 之比称为磁导率 $\mu=B/H$ ；
- 在磁化曲线起始端的斜率称为初始磁导率 μ_i .
- $\mu_i=(L/4\pi N^2)*(D/A)*10^9$
- 初始磁导率不是固定的，它随温度的变化而变化，如图所示；
- 有效磁导率 μ_e ，在闭合磁路中，磁心各段截面积可能不同，可能还带有气隙，此时有效磁导率 μ_e 可表示为 $\mu_i=(L/4\pi N^2)*10^{10}*\sum l_i/A_i$
- 式中 L ——装有磁心线圈的自感量
- l_i ——具有均匀截面积第 i 部分的磁路长度（mm）
- A_i ——该部分的截面积（ mm^2 ）

□ 5、电感因数 A_L

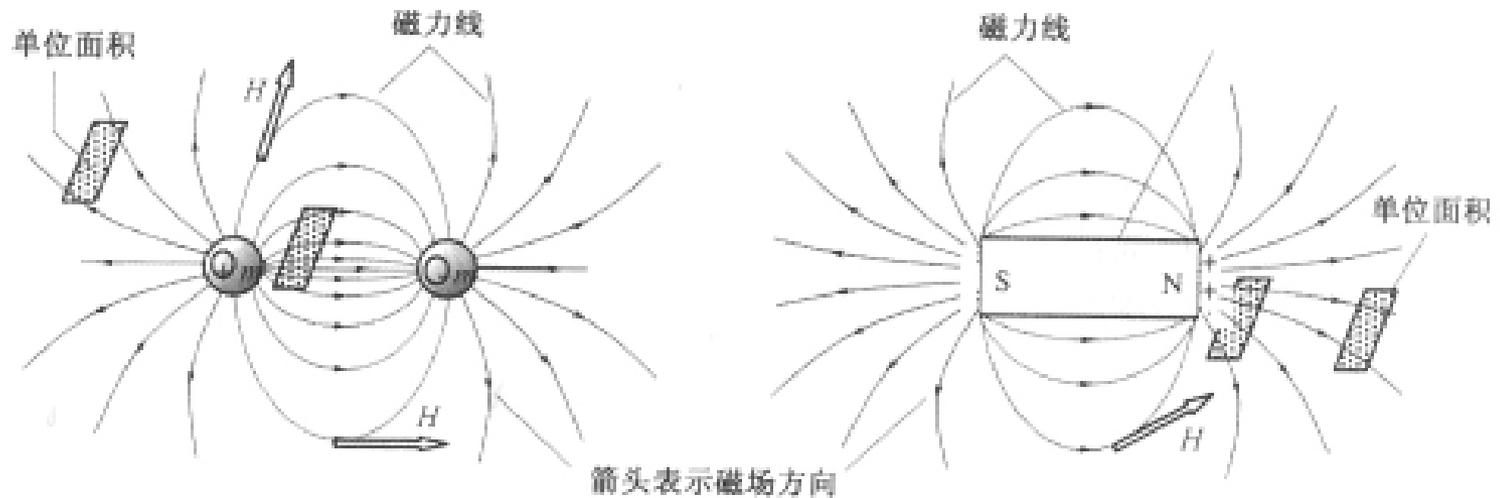
- 磁芯的单匝电感量称为电感因数 A_L ，单位为 nH/N^2 ，表达式为： $A_L=L/N^2$

□ 6、磁场强度 H

- 当在某恒定磁场中放入单位正磁荷 $+m$ 时，这个单位正磁荷所受的力 f （包括力的大小和方向）称为该磁场磁场强度 H 。其计算表达式为 $H=f/m=m/4\pi\mu_0r^2$ 或 $H=F/l$;
- 式中 F ——磁动势（安或安匝 符号 A 或 At ）

7、磁力线

用来表示能够反映磁场的分布情况、磁场的强弱和



(a) 正、负磁荷之间磁力线分布

(b) 永久磁体磁力线分布

□ 磁力线的特性

- 磁力线的方向，对正、负磁荷来说总是由 $+m$ 出发，进入 $-m$ ；对永久磁体外部来说总是由N极出发，进入S极；
- 两极距离愈近，磁力线分布愈稠密，穿过单位面积磁力线的根数愈多，磁场的强、弱程度就愈强；反之亦然；
- 同方向的磁力线相互排斥；
- 磁力线上每个点的切线方向表示该点的磁场方向
- 磁力线在现实的磁体上是肉眼看不到的，磁力线只是人为的虚拟线来让人更易理解；

□ 8、磁通（或称磁通量 ϕ ）

- 磁通就是指磁力线的多少。磁力线愈多，磁通量愈大；反之，磁力线愈少，磁通就愈小。
- 磁通的单位与计算，计算表达式为 $\phi = F/R_m$
- 式中 ϕ ——磁通（单位韦伯，符号Wb）
- F——磁通势（安培或安匝 符号A或At）
- R_m ——磁阻（安/韦伯 A/Wb）

□ 9、磁动势（或称磁通势、磁势） F

- 磁动势为通过电感受线圈的电流 I 与该线圈匝数的乘积；也可定义为磁场强度 H 与磁路长度 L 之乘积。在电感线圈匝数 W 不变的情误解下，若通过线圈的电流 I 愈大时，则表明磁动势 F 愈大，反之亦然。
- 磁动势的单位与计算；计算表达式为 $F = IW$ （单位为安或安匝，符号为 A 或 At ）

□ 10、磁阻 R_m

- 产生对磁力线的阻碍作用称为磁阻。在磁阻磁动势一定的情况下，磁阻 R_m 愈大时，对磁力线的阻碍作用愈强，则磁通 ϕ 愈小；反之，磁阻 R_m 愈小，对磁力线的阻碍作用愈弱，则磁通 ϕ 就愈大。磁阻与磁性材料的磁导率 μ 呈反比关系；与该磁性材料构成的磁路长度 L 呈正比关系；与该磁性材料构成的磁路横截面面积 S 呈反比关系；
- 磁阻的单位与计算，计算表达式为 $R_m = 1/\mu S$ 或 $R_m = F/\phi$ （单位为安/韦伯，符号A/Wb）

□ 11、磁感应强度（即磁通密度）**B**

- 穿过垂直于磁通单位面积的磁力线数目称为磁感应强度，或叫磁通密度。也可定义为单位面积的磁通量。磁感应强度**B**是向量，其大小取决于单位面积的磁通量的大小。
- 磁感应强度**B**与磁场**H**的关系：磁感受应强度**B**在真空介质中与磁场强度**H**的关系为 **$B = \mu_0 H$** 。
- 磁感应强度**B**的单位与计算，计算表达式为 **$B = \phi / S$**
（单位为韦伯/米²，符号Wb/m²）

□ 12、饱和磁通密度Bs

- 在磁芯的磁化曲线中，当磁化电流加大到某一数值后，磁芯即饱和，其磁通密度不再增加，此时的磁通密度称为饱和磁通密度。
- 饱和磁通密度与磁芯材料、磁芯结构及环境温度有着重要的关系；当磁芯材料和磁芯结构一定时，在一定的温度范围内磁饱和磁通密度可以看作不变。当实际上磁通密度是随温度的变化而变化的，即随温度的升高而下降。如图所示：

□ 饱和

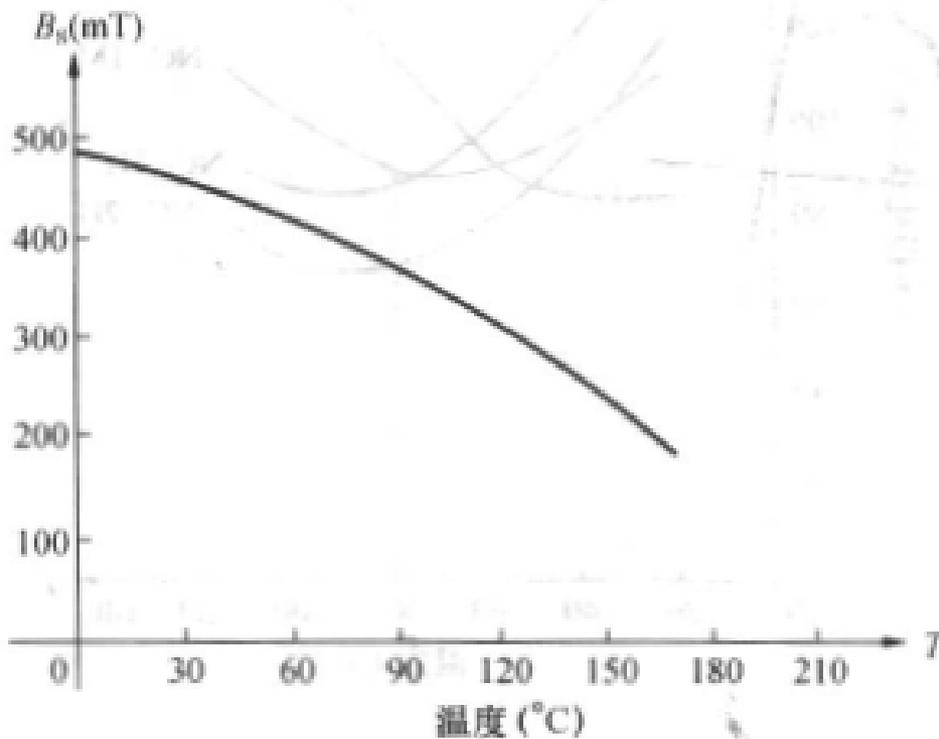


图 4-12 饱和磁通密度随温度变化曲线

□ 13、居里温度 T_c

- 居里温度 T_c 是指铁氧体材料由铁磁性或亚铁磁性转变为顺磁状态时的临界渐度。
- 实际测量时把磁导率（或 L ）与温度呈函数关系的曲线外推到磁导率（或 L ）=0的外推线与温度轴相交点取作居里点。在磁性材料的电感量与温度关系曲线上，将80% L_m 与20% L_m 的外推线与横坐曙度（ T ）轴的交点作为该材料的居里温度。如图所示：

居里温度 T_c (图)

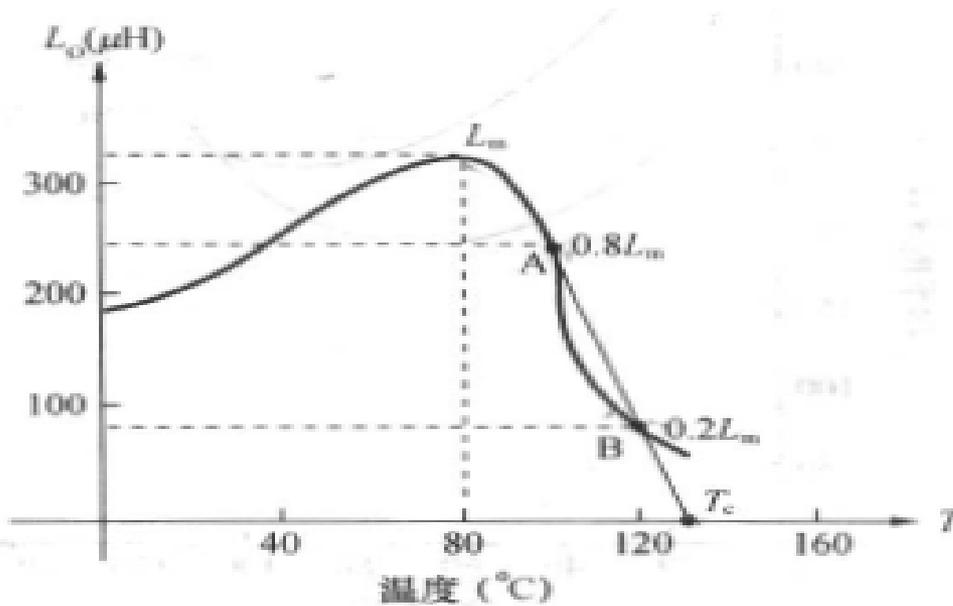


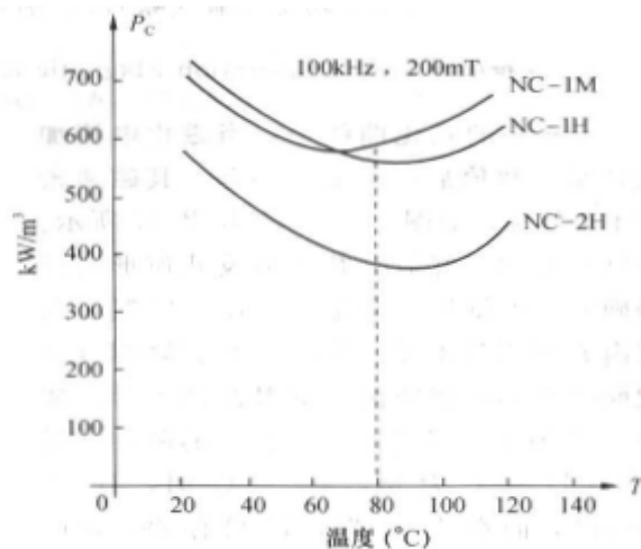
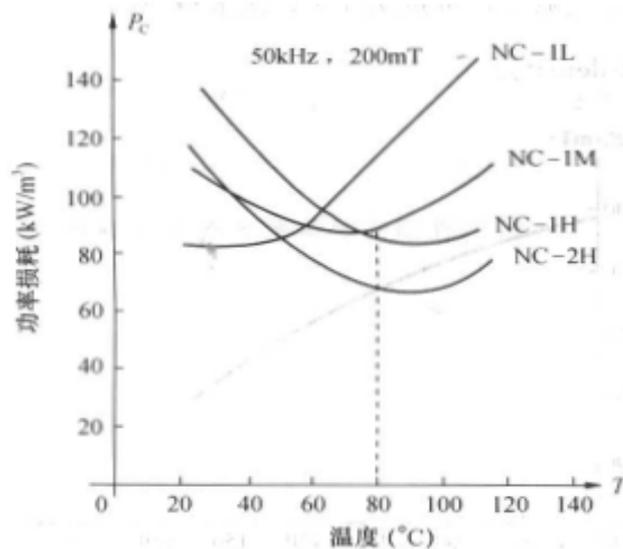
图 4-13 磁性材料的电感 L 随温度变化曲线

□ 14、磁性材料的功率损耗

- 带有磁心的线圈，其功率损耗包括线圈电阻的功率损耗（俗称铜耗）和磁心材料的功率损耗（俗称铁耗）。磁心材料的功率损耗包括磁滞损耗和涡流损耗两部分。
- 磁心中磁感应强度 B 的变化滞后于磁场强度 H 的变化，并呈现出封闭的磁滞回线形状，磁滞损耗的大小与磁滞回线所包围的面积呈正比关系。涡流损耗则是由于交变磁通穿过磁心截面时，在与磁力线相垂直的截面内产生环绕交变磁通的交变电流，这个电流称为涡流，涡流亦产生功率损耗，即为涡流损耗。但它与磁通变化的频率、磁性材料的电阻大小有关，电阻越大，涡流损耗越小。反之亦然。

14、磁性材料的功率损耗

从上图我可以看出，比如NC-1M材料，在200mT、80℃相同条件下，当频率由50KHz上升到100KHz时，Pc值大约增加了7.3倍。



□ 15、磁芯的最高安匝数

- 由于磁心的有效磁导率 μ_e 随通过线圈的电流 I 的变化而变化，因而磁心线圈的电感量也随线圈中电流的变化而变化，并呈非线性关系。如图所示。图中 L_0 电流为零时的电感量，开始电感随电流的增加而增回，当增加到最大值 L_M 后，又随电流的增加而减小。如果通过线圈的最大工作电流为 I_A ，在该电流下的电感值是 L_A ，则此磁心的最高安匝数一定要满足 $L_A/L_0 \geq 85\%$ 。

磁芯

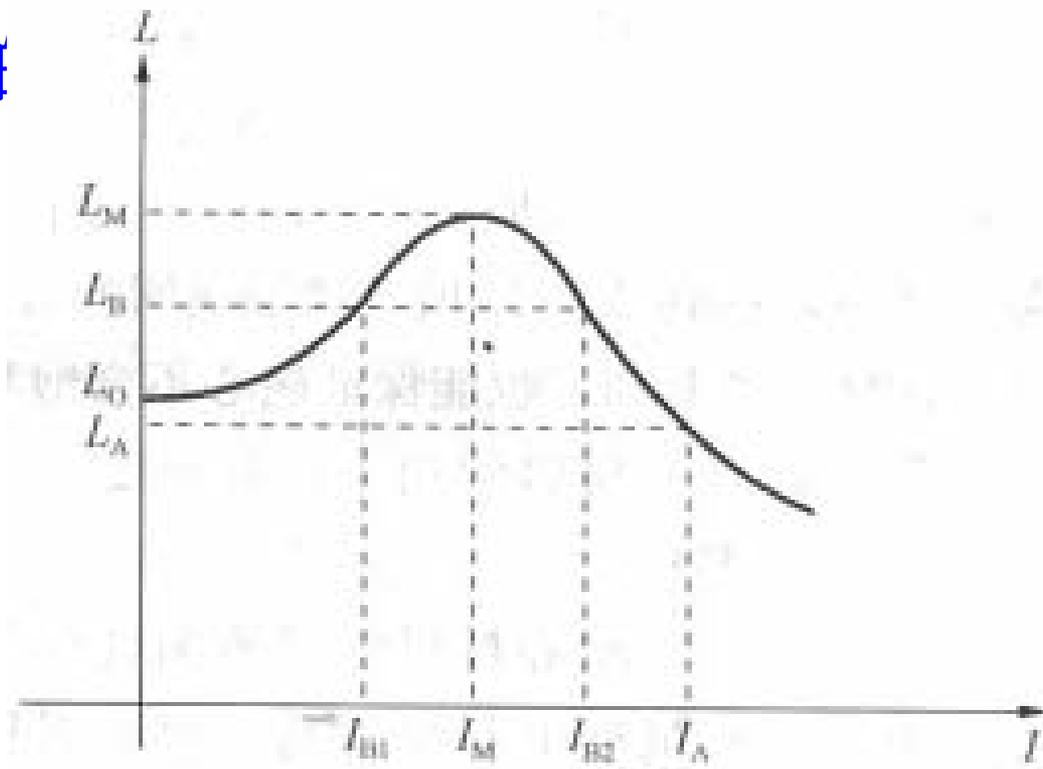


图 4-15 磁心线圈电感随电流 I 的变化

□ 16、电阻率 $\rho(\Omega/m)$

- 又叫电阻系数或叫比电阻。是衡量物质导电性能好坏的一个物理量，在数值上等于用那种物质做的长1米截面积为1平方毫米的导线，在温度 20°C 时的电阻值，电阻率越大，导电性能越低。则物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于温度每升高 1°C 时，电阻率的增加与原来的电阻电阻率的比值，通常以字母 α 表示，单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ 。

□ 18、矫顽力

□ 在永磁材料的退磁曲线上，当反向磁场H增大到某一值时，磁体的磁感应强度B为0，称该反向磁场H值为该材料的矫顽力。

□ 19、相对损耗因数 $\tan\delta/u$

相对损耗因数是损耗因数与磁导率之比。 $\tan\delta/u_i$ （适用于材料）； $\tan\delta/u_e$ （适用于磁路中含有气隙的磁芯

□ 20、损耗因素 $\tan\delta$

损耗因数是磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗三者之和：

$$\tan\delta = \tan\delta_h + \tan\delta_e + \tan\delta_r$$

式中

$\tan\delta_h$ 为磁滞损耗因数

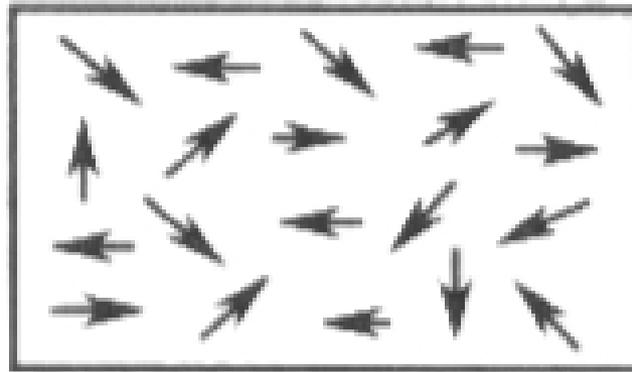
$\tan\delta_e$ 为涡流损耗因数

$\tan\delta_r$ 为剩余损耗因数

□ 三、磁性材料的物理性能

□ 1、磁性物质的基本特性

- 任何磁性物质在无外磁场作用的情况下，其结构中无数晶体磁畴因磁矩相互作用自由分立，呈现中性，即不显示磁性，这便是磁性物质基本特性或称原始特性。如图所示。



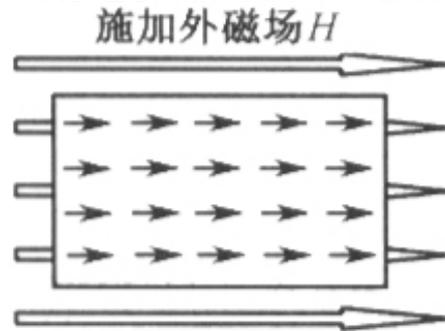
□ 2、磁性物质的分类

- 根据磁性物质在施加外磁场作用后的状态分类，可分为软磁性物质、硬磁性物质和搞磁性物质三种；
- ①. 软磁性物质（也叫顺磁性物质）
- 软磁性物质的定义与特性：若对磁性物质外加磁场，由于外磁场力远大于磁畴之间相互的作用力，故所有的磁畴磁矩便克服了磁畴之间的作用力，其方向均被强制朝向外磁场方向，并呈现磁性，如下图所示，当外加磁场消失后，这些磁畴磁矩又恢复到它们的以前相互作用下的原始方向，仍处于对外不呈现磁性的状态，这种磁性物质就叫软磁性物质。

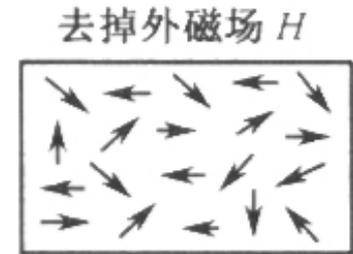
① 软磁性物质（也叫顺磁性物质）（图）



(a)



(b)

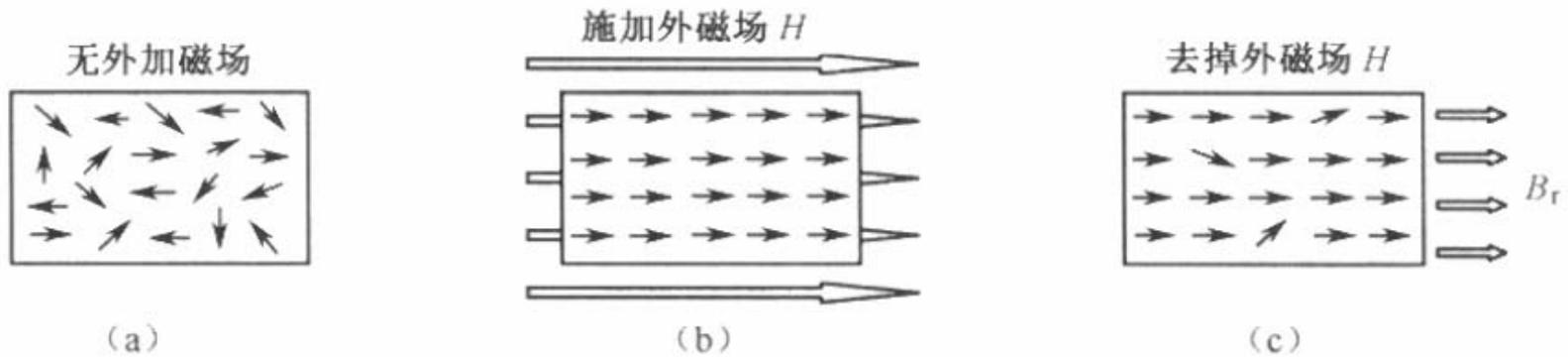


(c)

□ ② .磁性物质（也叫铁磁性物质）

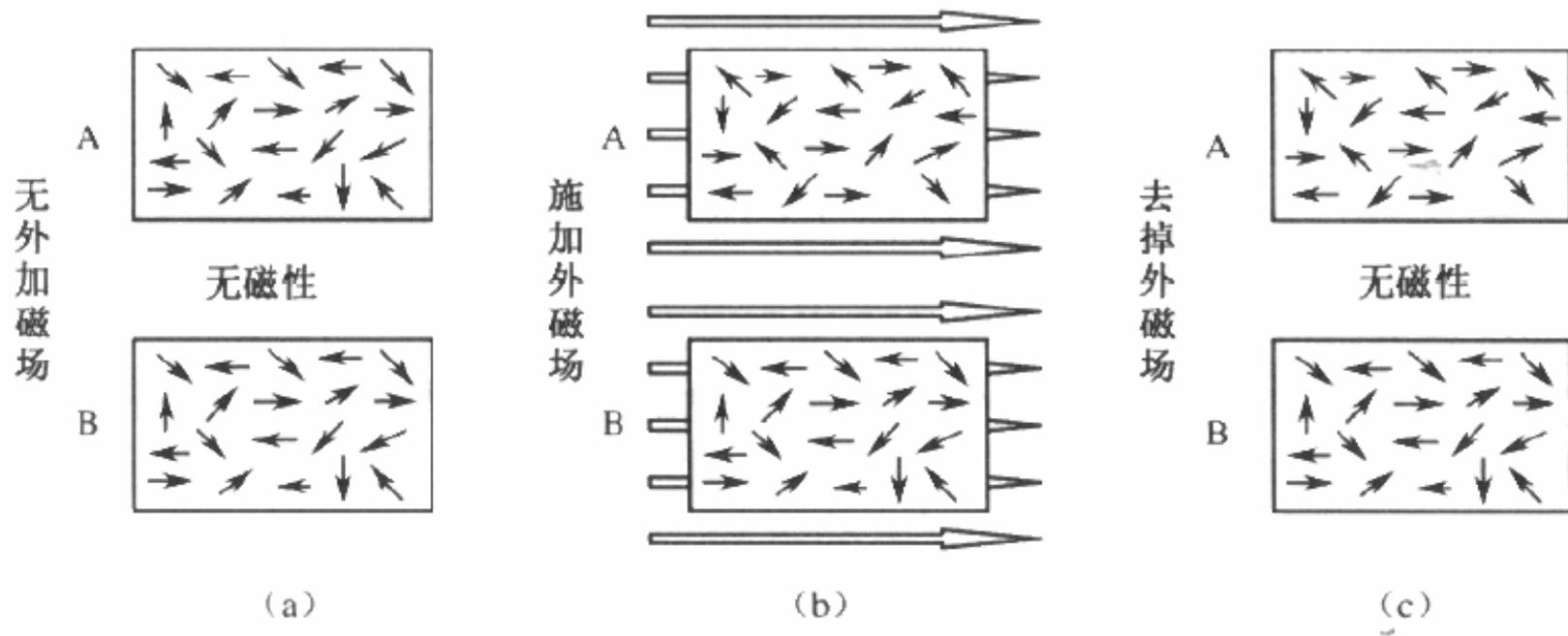
- 硬磁性物质在被施加外磁场后，由于外磁场力远大于磁畴之间相互的作用力，故所有的磁畴磁矩便克服了磁畴之间的作用力，其方向均被强制朝向外磁场方向，并呈现磁性，当外加磁场消失后，这些磁畴磁矩不再恢复到它们以前相互作用下的原始方向，而塑性地处于在受外磁场作用时被强制的朝向，使之对外变为呈现磁性的状态。并且不再施加其他方向的外磁场、无较大的撞击作用的情况下，该特质所呈现的磁性具有永久性，因此，通常这种磁性物质叫硬磁性物质。

② .磁性物质（也叫铁磁性物质）



□ ③.抗磁性物质（也叫非磁性物质）

- 对磁性物质外加磁场，所有磁畴却指向与自己原始方向相反的方向；或者仍旧顽固地维持自己的原始方向不变，具有对外加磁场的抗拒能力。即使去掉外加磁场，最终仍不呈现磁性，如图所示，通常称这种磁性物质叫抗磁性物质。
- 抗磁性物质有很多，常用抗磁性物质如铜、银、铅、水银，除氧各一氧化氮之外的所有气体等。



□ 四、磁性材料的分类及基本特性

□ 1、磁性材料的分类

□ 在磁性材料领域，最常见、应用极为广泛的是金属（包括合金）软、硬磁性材料；

□ ①. 金属（包括合金）软磁性材料

□ 硅钢片（硅铁合金）

□ 电式软铁（电式纯铁）

□ 坡莫合金（铁镍合金）

□ 铁铝合金

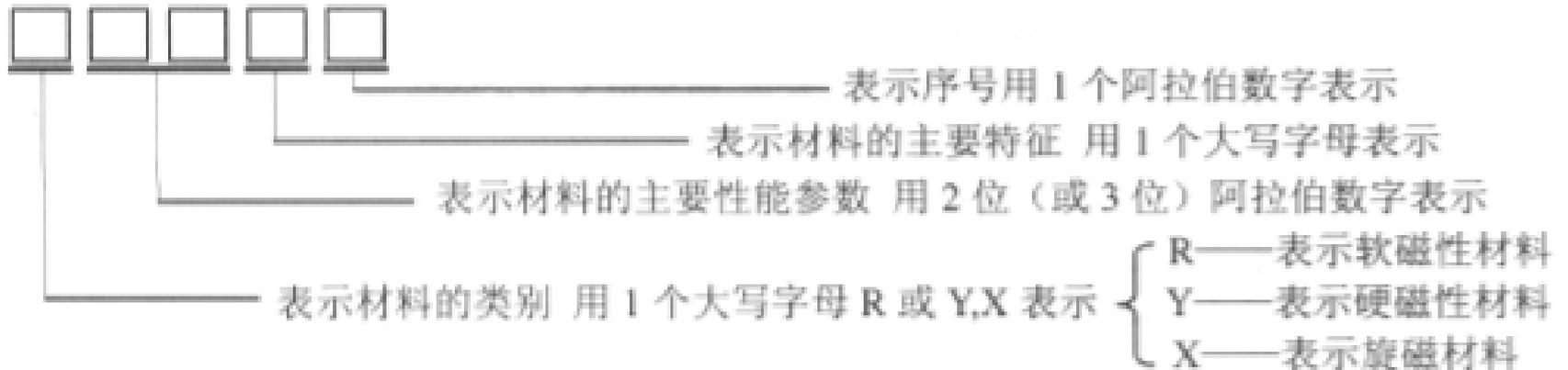
□ 铁钴合金

□ 非晶、微晶软磁合金

- ② .金属（包括合金）硬磁性材料
- 铝镍永磁合金材料
- 铝镍钴永磁合金材料
- 稀土钴永磁合金材料
- 铁氧体铝镍永磁合金材料
- 钕铁硼（NdFeB）永磁合金材料

2、磁性材料的命名及识别

①. 铁氧体材料的命名



- 识别范例1: R2kB2
- R表示软磁材料; 2K表示超始磁导率为2000H/m; B表示高饱和磁感应强度 B_m ; 2表示材料的序号为2。
- 识别范例2: Y25H1
- Y表示硬磁材料; 25表示磁能积为25KJ/m³; H表示高矫顽力 H_c , 1表示材料的序号为1
- LGA色码电感元件命名如下:
- 识别范例1: 1R8K 表示电感的电感量标称值为1.8 μ H, 允差为 $\pm 10\%$
- 识别范例2: 331K 表示电感的电感量标称值为330 μ H, 允差为 $\pm 10\%$
- 识别范例3: R560K 表示电感的电感量标称值为0.056mH, 允差为 $\pm 10\%$

②. 铝镍钴永磁合金材料的命名



有字母J表示高矫顽力 无字母则表示常规材料

表示最大磁能积的最小值 用 2 位数字表示

表示合金材料中含量最少的金属 用 1 个 (该金属符号首位) 大写字母表示

表示合金材料中含量较少的金属 用 1 个 (该金属符号首位) 大写字母表示

表示合金材料中含量较多的金属 用 1 个 (该金属符号首位) 大写字母表示

表示合金材料中含量最多的金属 用 1 个 (该金属符号首位) 大写字母表示

表示材料工艺方法 用字母 F 表示粉末烧结 无 F 字母则表示铸造工艺

□ 识别范例1:

F	L	N	G	T	3	3	J
---	---	---	---	---	---	---	---

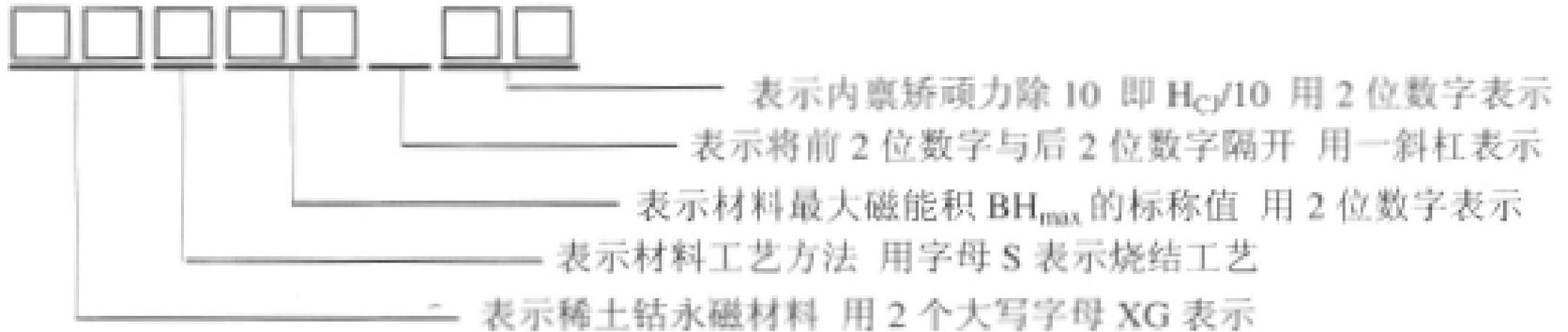
□ F表示粉末烧结工艺，L表示合金材料中除铁之外含量最多的金属为铝，N表示合金材料中含量较多（仅次于铝）的金属为镍，G表示合金材料中含量较少（仅次于镍）的金属为钴，T表示合金材料中含量最少的金属为钛，33表示最大磁能积的最小值为33 KJ/m³；J则表示为高矫顽力材料。

□ 识别范例2:

	L	N			1	4	
--	---	---	--	--	---	---	--

□ 无F字母表示铸造工艺，L表示合金材料中除铁外之外含量最多的金属为铝，N表示合金材料中含量较多（仅次于铝）的金属为镍，14表示最大磁能积的最小值为14 KJ/m³；无字母J则表示为一般材料。

③. 稀土钴永磁材料的命名



□ 识别范例1:

X	G	S	8	0	/	3	6
---	---	---	---	---	---	---	---

□ ~~XG表示稀土钴永磁材料，S表示烧结工艺，80表示材料的最大磁能积标称值为80 KJ/m³，36表示材料的内禀矫顽力为360A/m。~~

□ 识别范例2:

X	G	S	6	7	/	3	0
---	---	---	---	---	---	---	---

□ XG表示稀土钴永磁材料，S表示烧结工艺，67表示材料的最大磁能积标称值为67 KJ/m³，30表示材料的内禀矫顽力为300A/m。

□ 3、软磁铁氧体材料成组及特点

- 软磁铁氧体材料是一种非金属磁性材料，由氧化铁和其他金属氧化物如氧化锰（ MnO ）、氧化锌（ ZnO ）、氧化镍（ NiO ）、经高温烧结而成。
- 其主要特点是，具有较高的电阻率，在高频下涡流损耗比金属磁材小得多，因此主要用于高频领域。

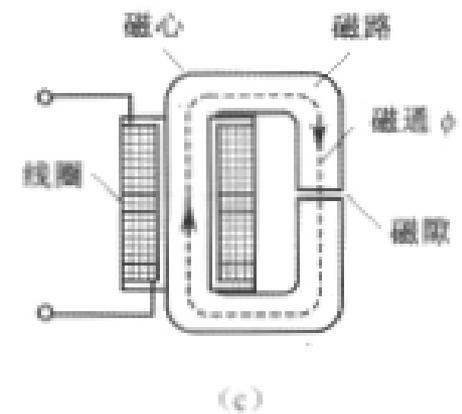
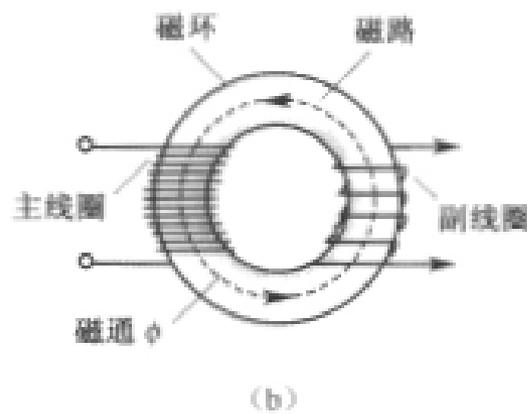
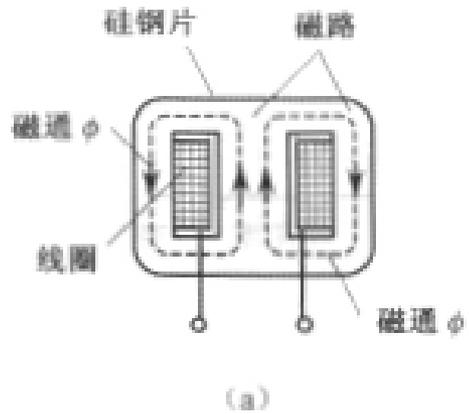


□ 软磁铁氧体材料主要性能参数

材料 牌号	起始磁 导率	比损耗正切				静态参数				居里点 θ_f	电阻 率 ρ	密 度D	减落 因子
		F_1	$*10^6$	F_2	$*10^6$	Bs	Br	Hc	Hmm				
R1K	1000			0.5	35	3100	1200	0.2	5	150	10 ²	4.8	20
R1K5 H	1500			0.1	5	3000	1000	0.4	5	150			10
R1K5 B	1500	0.01	1		2	3600	1000	0.4	5	150			10
R2K	2000				15	3300	1000	0.3	4.5	120			20
R2KX	2000	0.01	5		10	3300	1000	0.3	4.5	150			10
R4K	4000	0.005	5			3000	900	0.2	3	120			3
R6K	6000	0.002	5			3400	800	0.1	1.5	100	10		
R10K	10000		3			3400	800	0.05	0.8	85		4.9	

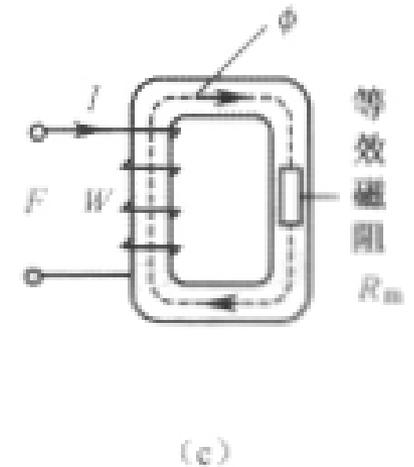
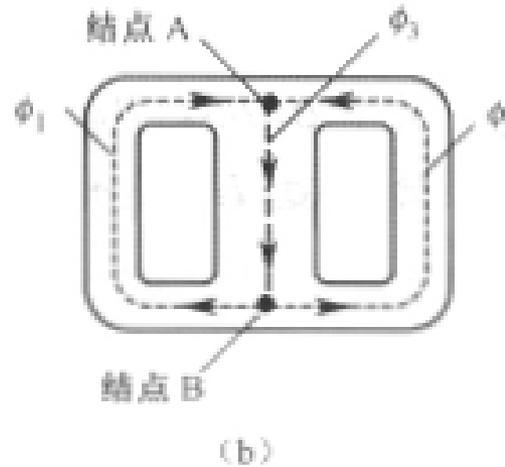
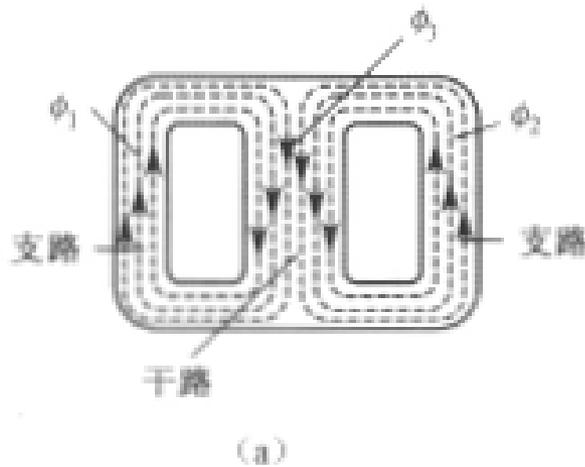
□ 4、磁路

- 磁性物质材料构成一个磁能可以顺利穿过（或流通）的闭合回路称为磁路。



磁路定律

磁路定律是进行磁路计算的基本定律



□ ①. 基尔霍夫第一定律

□ 在具有分支的磁路中，干路的总磁通 ϕ_3 等于各支路磁通 ϕ_1 、 ϕ_2 之和。或定义为通过磁路结点磁通的代数各为0。

□ 基尔霍夫第一定律的计算表达式为 $\phi_3 = \phi_1 + \phi_2$

□ ②. 基尔霍夫第二定律（磁路欧姆定律）

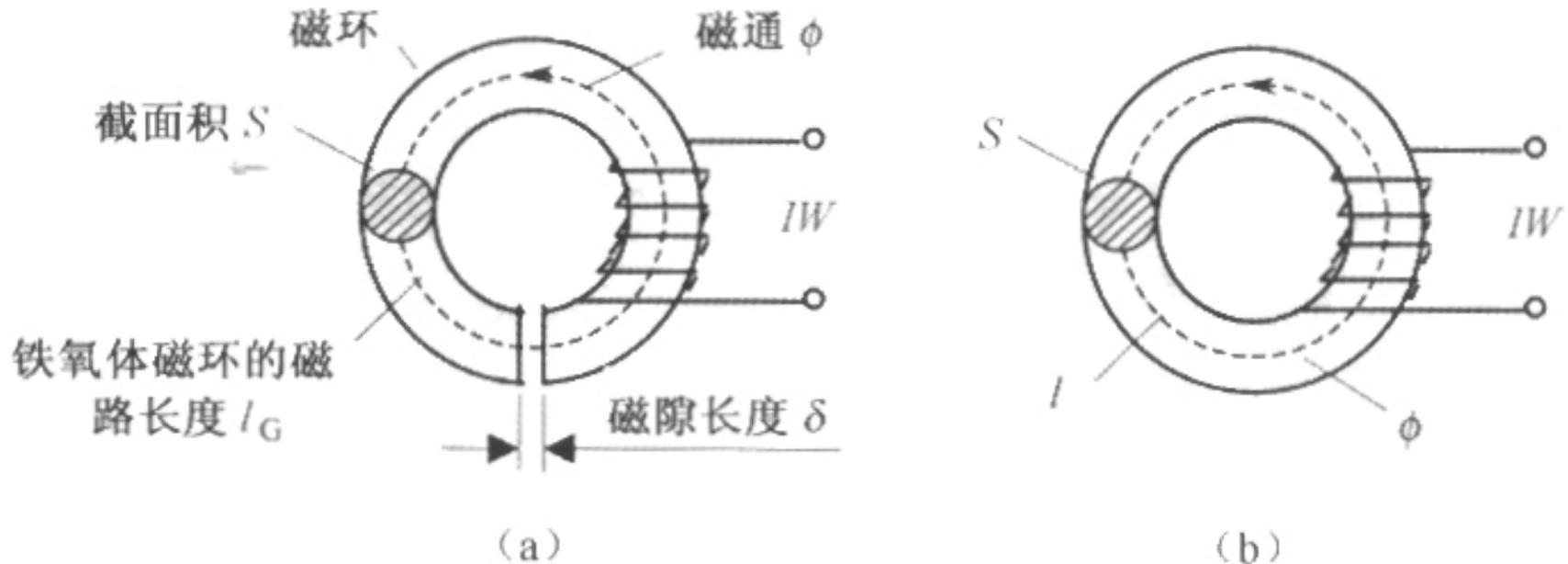
□ 在任一闭合磁路中，磁势 F 都等于磁路中磁通 ϕ 与磁路磁阻 R_m 之乘积。

□ 基尔霍夫第二定律表达式为 $F = IW = \phi R_m$

□ $\phi = IW / R_m$

□ $R_m = IW / \phi$

□ 在下图b所示闭合的磁路中，磁阻是很少的，可理想地获得较大的磁通。然而，还有一种不完全闭合而存在磁隙（空气隙的磁路，这种磁路则称为有磁隙磁路，如图a所示。



□ 有磁隙磁路的参数计算，表达式如下：

■ 有磁隙磁路的磁阻—— $R_m = IW/\phi = F/\phi = HL/BS = HI/\mu HS = L/\mu S$

□ —— $R_{总} = R_G + R_0 = LG/\mu GS + \delta/\mu_0 S$

■ 有磁隙磁路的磁通—— $\phi_{总} = \phi_G = \phi_0 = IW / (R_G + R_0)$

■ 有磁隙磁路的磁场强度—— $H_G = \phi/\mu GS$

□ —— $H_0 = \phi/\mu_0 S$

□ $\therefore \mu_0 \ll \mu_G;$

□ $\therefore H_0 \ll H_G$

- 有磁隙磁路的特点：
- 磁隙（即空气隙）的磁阻增大；
- 磁隙（即空气隙）的磁场强度很大；
- 调整磁隙 δ 的大小，可调节磁通 ϕ 的大小，也可调节磁隙的磁场强度的大小

□ 有磁隙磁路的用途:

- 用于阻流圈与大电流电感——因为在大电流负载滤波器中所采用的阻流圈与大电流电感或互感，基磁路均留有气隙，其目的是为防止铁心的饱和。
- 用于磁性开关——在自动控制电路中，常利用有磁隙的磁路中磁隙（即空气隙）的磁场强度很大这个特点做磁性开关，磁性开关它即能以小功率控制大功率；也可缩短控制引线；还可实现控制电路与执行电路的电气隔离。
- 用于产生力矩——在测量领域，常利用磁隙的磁场强度相当大这一特点，使通电导体产生力矩而使之转动一定的角度来达到目的。

□ 五、电感的基本知识与分类

□ 电感与电感线圈

- 电感的物理概念——如果电感线圈中通过一电流 I ，就会在线圈中产生磁通 ϕ 。故电感可定义为：线圈中单位电流 I 所产生的总磁通量 ϕ 称为该线圈的电感（或称电感量） L 。计算表达式为 $\phi=LI$ 。 L 是比例系数，称为自感，也称为电感。

□ 电感器的结构:

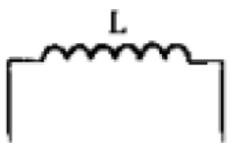
- 最简单的电感线圈就是用导线空心地绕几圈而成。一般的电感，是由铁心或磁心、骨架和线圈等组成。铁心常用于工作频率较低的电路中，如用于50Hz交流电频电路中；磁芯常用于工作频率较高的电路中，如收音电路磁棒线圈中的磁棒、节能灯和电子镇流器电路中的磁芯及磁环，其工作频率高达上千Hz。磁芯中，根据工作频率的高低不同，也有低频磁芯和高频磁芯之分。即电感与绕线的匝数比，磁芯的大小及磁芯的材质有着不可分开的关系。线圈绕的匝数愈多，电感愈大，在同样的匝数情况下，线圈加了磁芯后，电感量也会增大。

□ 电感器的的工作原理及分解:

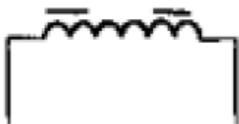
- (1) 给电感器通电后的电感器工作过程，此时电感器由电产生磁场；
- (2) 电感器在交变磁场中的工作过程，此时电感器由磁产生交流电；
- 给电感受器通交流电流时，在电感器的四周产生交变磁场；
- 给电感受器通直流电流时，在电感器四周产生大小和方向不变的恒定磁场；
- 由电磁感应定律可知，磁通的变化将在导体内引起感生电动势，因为电感器（线圈）内电流变化（因为通的是交流电流）而产生感生电动势的现象，称为自感应。电感就是用来示自应特性的一个量。
- 线圈周围的磁场是由交变电流产生的，这个磁场称为原磁场。
- 自感电动势要阻碍线圈中的电充变化，这种阻碍作用称为感抗。

- 电感器的特性：
 - (1) 电感器能够通过直流电流，对交流电流存在感抗作用。感抗的大小与电感量大小、频率高低成正比关系；
 - (2) 电感器电流不能突变的特性，（与电容两端电压不能突然袭击特性联系起来）可以方便分析电感器负载电路中的保护电路；
 - (3) 电感器主要用于电源滤波电路，与电容构成LC谐振电路。
- 电感的单位与计算表达式—— $L = \Phi / I$ （单位为亨，符号H）
- 电感的单位与单位换算—— $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H} = 10^9\text{nH}$
- 电感的偏差等级——分为三个等级， $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$

□ 电感器的电路符号

电路符号	符号名称	说明
	新电感器 电路符号	这是电感器不含磁芯或铁芯的电路符号也是最新规定的电感器电路符号
	有磁芯或 铁芯电感器 电路符号	这一电路符号过去只表示低频磁芯的电感器，电路符号中一条实线表示磁芯且是低频磁芯，现在统一用这一符号表示有磁芯或铁芯的电感器
	高频磁芯 电感器电 路符号	这是过去表示高频磁芯电感器的电路符号，用虚线表示高频磁芯，现在用实表示有磁芯或铁芯而不分高频和低频，但有一些电路图中还会见到这种电感器电路符号

□ 电感器的电路符号

电路符号	符号名称	说明
	磁芯中有 间隙电路 符号	这是感器中的一种变形，它的磁芯中有间隙
	微调电感 电路符号	这是有磁芯而且电感量可在一定范围内连续调整的电感器，也称微调电感器
	无磁芯抽 头电感器 电路符号	这一电路符号表示该电感器没有磁芯或铁芯，电感器中有一个帛头，这种电感器有3根引脚

□ 电感线圈的绕制方法与特点:

- 乱绕法——是指用手工或绕线机不需要排线地将铜线乱绕在绝缘骨架上或将铜线乱绕或排绕在专用模具上，然后脱模成开的绕线方法。其特点是绕制工艺简单，品质Q值居中，多用于低压，低中频场合。
- 热电厂红法——是指用一般绕线机或排线绕线机每一圈都整齐排列地将铜墙铁壁线绕制在绝缘骨架上的绕制方法。多层绕制进，层间必须加垫层绝缘纸或黄蜡绸，以保证层间的绝缘强度。其特点是绕制工艺烦琐，品质因数Q值低，分布电容大，耐压较高，电感量大，多用二低、中压，低频场合。

□ 电感线圈的绕制方法与特点：

- 间绕法——是指用手工或绕线机每一圈间均留有相同间隔地将铜墙铁壁线整齐绕制在绝缘骨架上的绕线方法。其特点是绕制工艺简单，品质因数Q值较高；分布电容很；耐压较高；电感受量小；适用于甚高频在与超高频场合。
- 蜂房式绕法——即用专用蜂房式绕线机将铜线按蜂房式结构规则绕制在绝缘骨架上的绕线方法。不同处是在绕制过程中，其骨架做圆周方向旋转的同时，还轴向摆动，一般骨架旋转一周要轴向摆动2~3次，这样导线每绕一圈就要在轴向来回折弯2~3次。其特点，绕制工艺较复杂；品质因数Q值最高；分布电容最小；体积小电感量大；常用于高频在场合。

□ 电感受线圈的自感应现象

- (1). 自感应现象与自感电势——如果流经线圈中的电流出现变化时，就会出现自感应现象，即在线圈的两端产生一种电动势，这种电动势叫做自应电动势，简称自感电势 e 。
- 自感受电势 e 的大小与方向只与电充的变化速率及其变化的方向有关，自感电势 e 的计算表达式为
- $e = -Ldi/dt$

□ 电感受线圈的自感应现象

- (2). 励磁电感线圈——所谓励磁，即指有电就有磁，无电就无磁。故励磁电事情线圈就是一种通电磁体，即电磁体，或称主线圈。也就是说，必须给电感受线圈通入电流后，这个电感线圈才能产生磁场或在电路中发挥某种作用。或进说，电感线圈要产生磁场或在电路中连续地发挥某种作用，就必须通过电源不断代电来维持。它的种类可根据用途分为多种，空心电感受线圈、铁心电感、磁心电感、铜心电感、标准电感、动圈电感、主旋转电感受、写录电感受、偏转线圈、永磁心电感、换能电感等。

□ 电感受线圈的自感应现象

- (3). 磁感应电感受线圈——所谓磁感应，即指有磁就有电，无磁就无电。故磁感应电感线圈就是一种无源线圈，它只能被动地借助外部磁场磁力线穿越己身时，通过磁感应方式产生感应电压或电流。更确切地说，就是这种电感线圈若要想产生电能，就必须有外部磁场的磁力线穿越己身并不断地变化。故将此电感受线圈称为副线圈、副绕组、次（级）线圈、次（级）绕组等。

□ 电感受线圈的自感应现象

- (4). 电感线圈的品质因数（Q值）——电感线圈的品质因数（即线圈的Q值）是衡量电感线圈质量好坏的重要技术参数，用Q值表示。一般Q值的大小表明了该电感线圈损耗的大小，即Q值愈大，线圈的损耗就愈小；反之损耗就愈大。
- 电感线圈Q值是指电感线圈在某一频率的交流电压下工作时线圈所呈现的电抗（这里指感抗 X_L ）与线圈的直流电阻 R 的比值。其计算表达式
- $Q = X_L / R = \omega L / R = 2\pi f L / R$
- 电感线圈的Q值也常用衰减系数 d_L 来表示，其表达式为
- $d_L = 1 / Q = R / \omega L = R / 2\pi f L$
- 从上式我们看出，当频率 f 与电感量 L 一定时，Q值与直流电阻 R 成反关系，即电阻 R 愈大，Q值就愈小；反之电阻 R 愈小，Q值就愈大。

□ 电感线圈的分布电容与固有频率

□ 电感线圈的分布电容C——任何电感线圈，其匝与匝之间、层与层之间、线间与参考地之间、线圈与磁屏蔽之间等都存在一定的电空，这个些电容就称为电感线圈的分布电容。

■ 分布电容的危害——当电感线圈的工作电压频率高于线圈的固有频率时，其分布电容的作用便喧宾夺主地高出了电感的作用，使电感变成一个小电容。

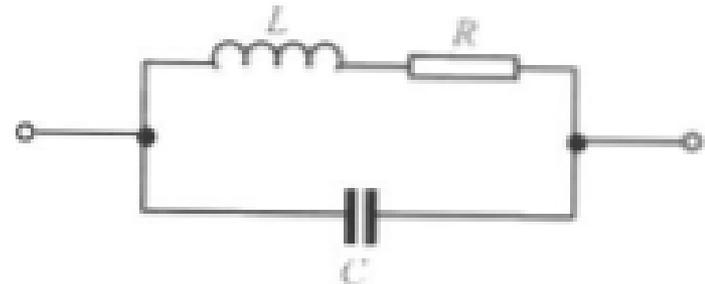
■ 减小分布电容的有效措施——减小骨架直径；在满足电流密度的前提下尽可能地选取用细一些的漆包铜线；充分利用可用绕线空间对线圈进行间绕法绕制；采用多股峰房式线圈。

□ 电感线圈的分布电容与固有频率

□ ~~电感线圈的固有频率 f_0 ——电感线圈上除了有分布电容 C 外，还具有直流电阻 R ，这样，任何一个电感线圈都可以画出其等效电路，如下图所示。~~

□ 线圈在低频工作时电阻 R 与电容 C 对其影响并不大，可以忽略不计。但当工作频率提高后，分布电容的容抗 X_C 与电感的感抗 X_L 相等（ $X_C = X_L$ ）时，电感线圈自自就会出现谐振现象，此时的谐振频率 f_0 即为该电感线圈的固有频率。其计算表达式为

□ $f_0 = 1/2\pi$



□ 电感线圈的串、并联

□ 电感线圈的串联——若电感量为L1, L2, L3+...+Ln串联时, 其合成的等效电感量LC的计算表达式为

□ $LC=L1+L2+L3+...+Ln$

□ 电感线圈的并联——若电感量为L1, L2, L3+...+Ln并联时, 其合成的等效电感量LB的计算表达式为

□ $LB= \frac{1}{1/L1+1/L2+1/L3+...+1/Ln}$

□ 六、电感器的特性及用途

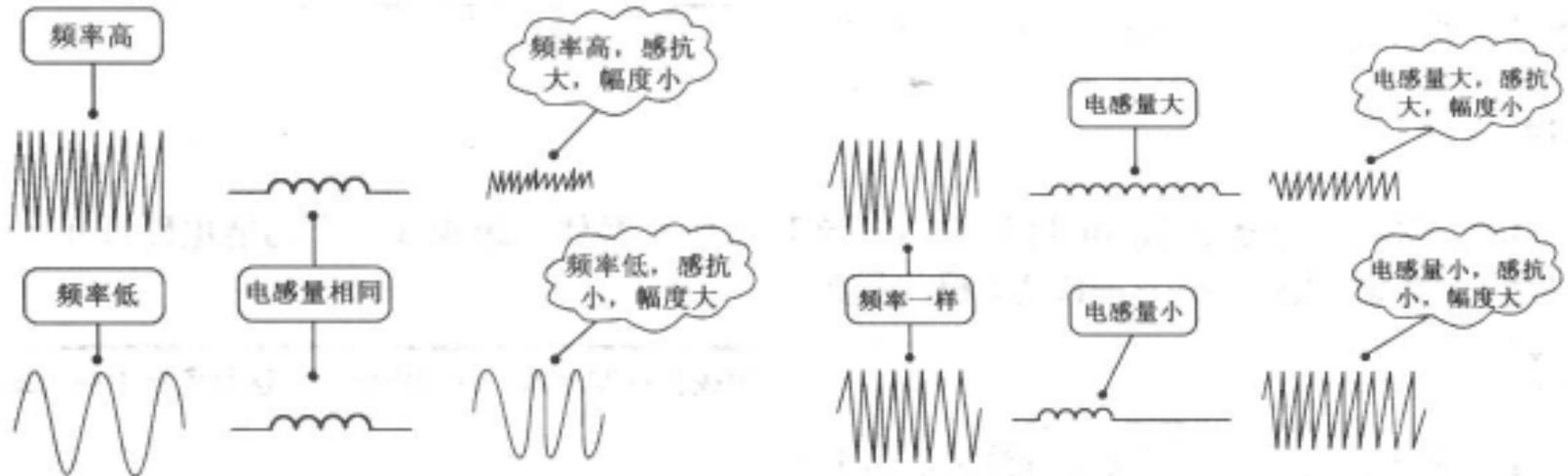
□ 1、电感器的典型应用电路有下面3个方面：

- ①. 电感器与电容器组成LC串联或并联谐振电路，构成各种滤波器、选频电路等，这是电路中应用最多的；
- ②. 电感器在电源电路中作为滤波电感，阻止交流成分通过，让直流电流通过；
- ③. 电感器可以用来耦合信号和延迟信号作用；

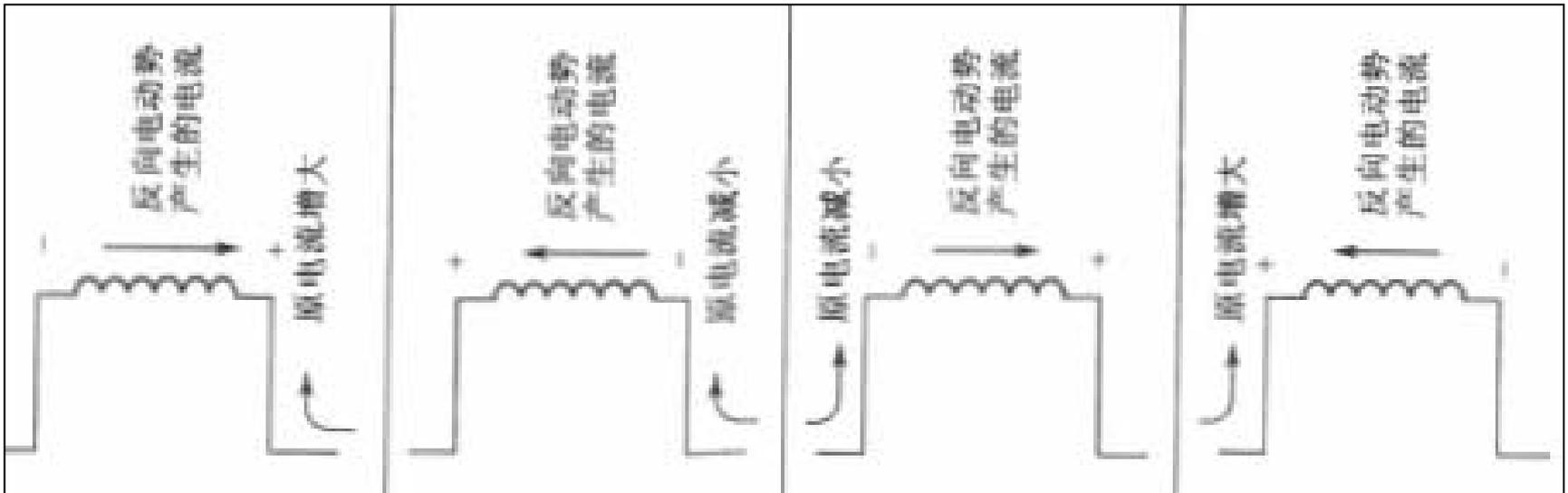
□ 2、电感器通直阻交流特性

- ①. 通直流是指电感器对直流电而言呈通路，如果不计电感线圈的直流电阻，那么直流电流可以“畅通无阻”地流过电感器。对直流电流而言，线圈本身很小的直流电阻对直流电流的阻碍作用很小，所以在电路分析中往往可以忽略不计（也有例外），从而简化了电感电路分析。
- ②. 当交流电流流过电感线圈时，电感器对交流电存在着阻碍作用，阻碍交流的是电感线圈的感抗。
- 对电感器来讲，感抗远大于电感器的直流电阻，所以，电感器具有通直阻碍交流的特性。
- 电感器的感抗大小与电感器的电感量和流过电感器的交流电流频率有关。
- 电感器的感抗 X_L 计算表达式为 $X_L=2\pi fL$

□ 电感器的感抗与电感器的电感量和流过电感器的交流电流频率成正比关系，我们用下图来进行理解。



- 3、电感器电流不能发生突变特性和反向电动势
- 当流过线圈的电流大小发生改变时，线圈要产生一个反向电动势来维持原电流的大小，即这一反向电动势不让线圈中的电流发生改变，线圈中的电流变化率愈大，其反向电动势愈大。
- 反向电动势我们同样用下图来进行理解。



□ 4、电感器在电路的用途

- (1). ~~电感滤波作用~~——电源电路中的滤波接在整流电路之后，用来滤除整流电路输出电压中的交流成分。如下图所示，我为大家讲解一下工作原理。

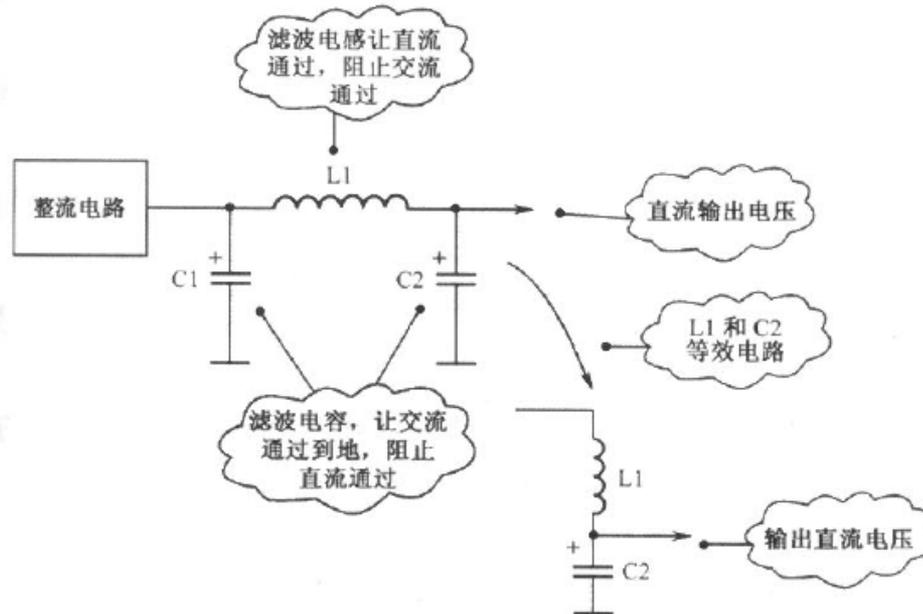
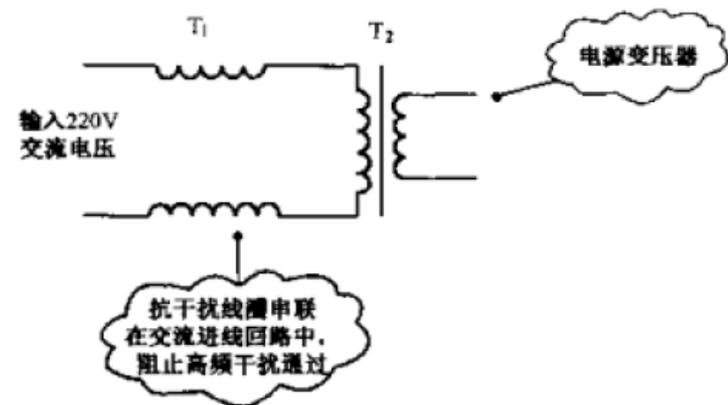


图 6-5 π 型 LC 滤波电路

- 从整流电路输出的是直流和交流混合成分，其中的直流成分是需要，交流成分是不需要的，通过滤波电路去掉交流成分。
- 从整流电路输出的交流和直流混合电流首先经过C1的滤波，然后加L1和C2这节滤波电路上，对直流电而言，由于电感L1的直流电阻很小，所以直流电流流过L1时在L1上产生的直流电压降很小，这样直流电压就能过L1到达输出端。对于交流而言，滤波电路中使用的电感器L1电感量比较大，所以L1感抗很大。这一感抗与电容C2的容抗（滤波电容的容量大容抗很小）构成分压衰减电路，对交流电压有很大的衰减作用，从而达到滤除交流电压的目的。
- π 型滤波电路中，滤波电感L1的电感量愈大，其感抗愈大，滤波效果愈好。
- 滤波电感L1的直流电阻很小，所以在L1上的直流电压降很小，可以不计。

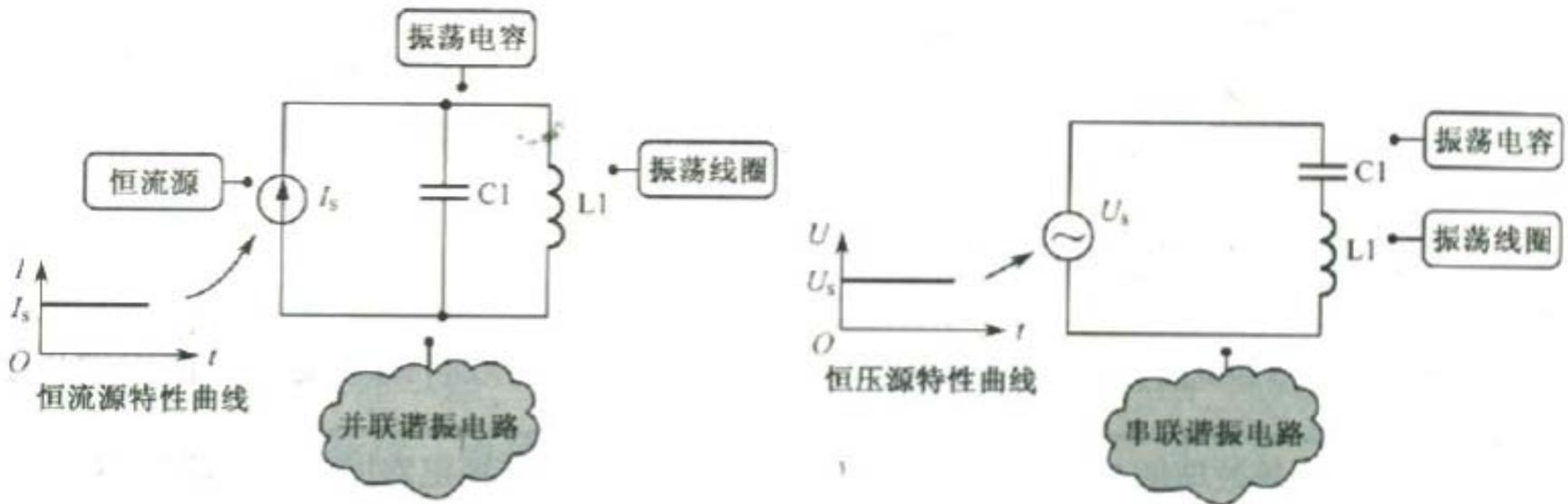
□ (2). 电感抗高频干扰作用

- 我们用下图进行分析，电路中的T1是电感器，它有两组独立线圈，T2是电源变压器。T1的两组线圈串联在电源变压器T2初级线圈两根进线回路中。
- 由于高频干扰的频率高，电感器T1对高频信号的感抗大，这样高频干扰信号不能通过电感器进入到电源变压器T2的初级线圈，达到抗高频干扰的目的。
- 对于输入的50Hz交流市电而言，因为频率很低，电感器T1对交流电的感抗很小而呈通路状态，这样220V交流市电能够无衰减地加到电源变压器T2初级线圈上。



5、LC串联谐振和LC并联谐振电路分析

LC谐振电路是一种由电感器L和电容器C构成的常用电路。根据L和C的不同连接构成两种电路：即L与C串联构成LC串联谐振电路；L与C并联构成LC并联谐振电路。如下图所示：



□ 6、LC谐振电路的工作原理

- (1). 设电容中已经充有电场能，这时电容中的电场能对电感线圈放电，这一过程是电容中电场能转换成线圈中磁场能的过程，电容放电结束时，全部能量以磁场能的形式储存在线圈中。
- (2). 电容放电完毕之后，线圈中的磁场能又以线圈两端自感电动势产生电流的方式，开始对电容进行充电，这一充电过程是线圈中磁场能转换成电容中电场能的过程。
- (3). 电容充电完毕之后，电容两端的电压再度对线圈进行放电，开始新一轮新的振荡，即能量转换过程。这就是LC谐振电路的基本过程。

□ 七、电感的故障检修

- 1、~~电路中无信号输出或电源滤波后无电压输出~~，即为电感开路，用万用表进行测试，直流电阻呈开路状态；
- 2、电路不能起振，即电感的电感量不正常，偏离了标准要求的电感量，因电感量的大小决定了谐振频率的高低，严重偏离设计标准电路将不能进行工作。

-
- 耀润公司运营服务部真诚奉献!
 - 部分资料来源于网络收集,如有雷同,深表歉意!

 - 谢谢!