

电子元器件-电感

分享人: Steven Qiu

时 间: 2024年8月23日

电感：

电感器(L)是与电阻(R)和电容器(C)并列的重要的被动元器件，电感器(Inductor)是一种能够在电路中储存磁能的元件，通常由线圈和磁芯组成。电感的基本原理是根据法拉第电磁感应定律，当电流通过线圈时，会在周围产生磁场，而当磁场变化时，又会在线圈中产生感应电动势。

1、电感的基本概念

电感量(L)：俄国物理学家海因里希·楞次(Heinrich Lenz)

电感量是衡量电感储存磁能能力的参数，单位为亨利(H)。

电感量的大小与线圈的匝数、线圈的截面积和磁芯的磁导率有关。

电感量公式：
$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$

其中， N 是线圈的匝数， μ 是磁导率， A 是线圈的截面积， l 是磁路长度。

- 自感和互感：

自感：当电流通过线圈时，线圈产生的磁场会反过来影响自身，称为自感现象。

互感：当一个线圈产生的磁场影响到另一个线圈时，称为互感现象。互感在变压器中广泛应用。

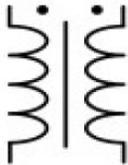
电感:

2、电感线圈的感抗(X_L)

$$X_L = 2\pi fL$$

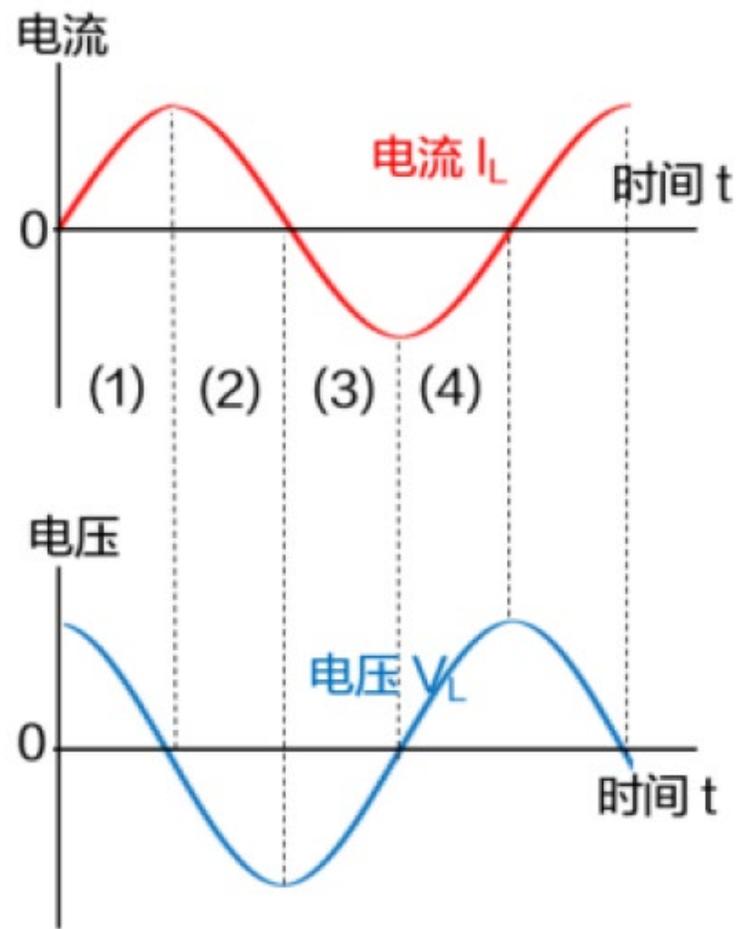
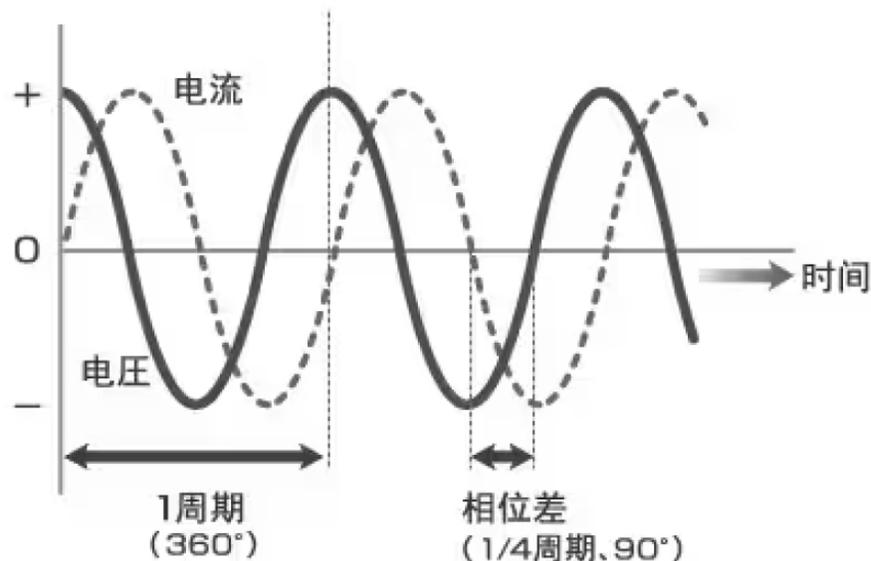
X_L : 感抗单位为欧姆(Ω) f : 频率(Hz) L : 电感值(H)

电路符号

名称	符号
电感器(无磁芯)	
电感器(铁系磁芯)	
变压器	

电感：

3、电压超前电流：在纯电感电路中，电感器在电流变化时会先产生电动势，这个电动势形成的电压比电流的变化提前90度。也就是说，当电流达到最大值时，电压已经在逐渐减小；当电压达到最大值时，电流刚好为零。电流波形相比电压波形滞后1/4周期偏离(电流的相位滞后电压 90°)



电感：

4、电感电容对比

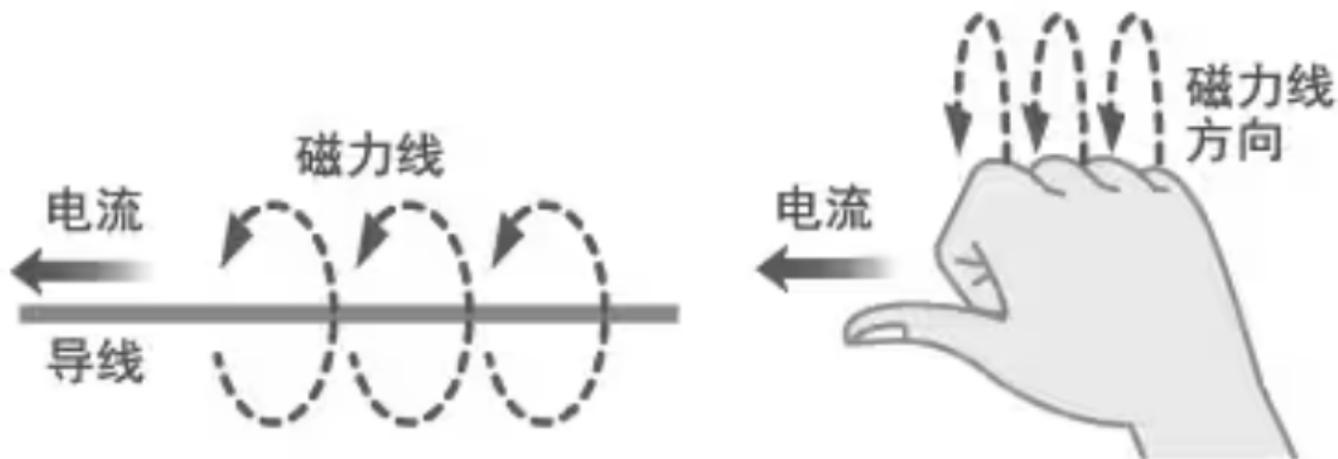
项目	电感器	电容器
电压与电流的关系	电流的变化率越大越会产生大电压	电压的变化率越大越会有大电流流过
直流电流	通过	不让通过
交流电流	越是高频越不易通过	越是高频越易于通过
电流相对于电压的相位	滞后 90°	超前 90°

电感：

5、右手定则。

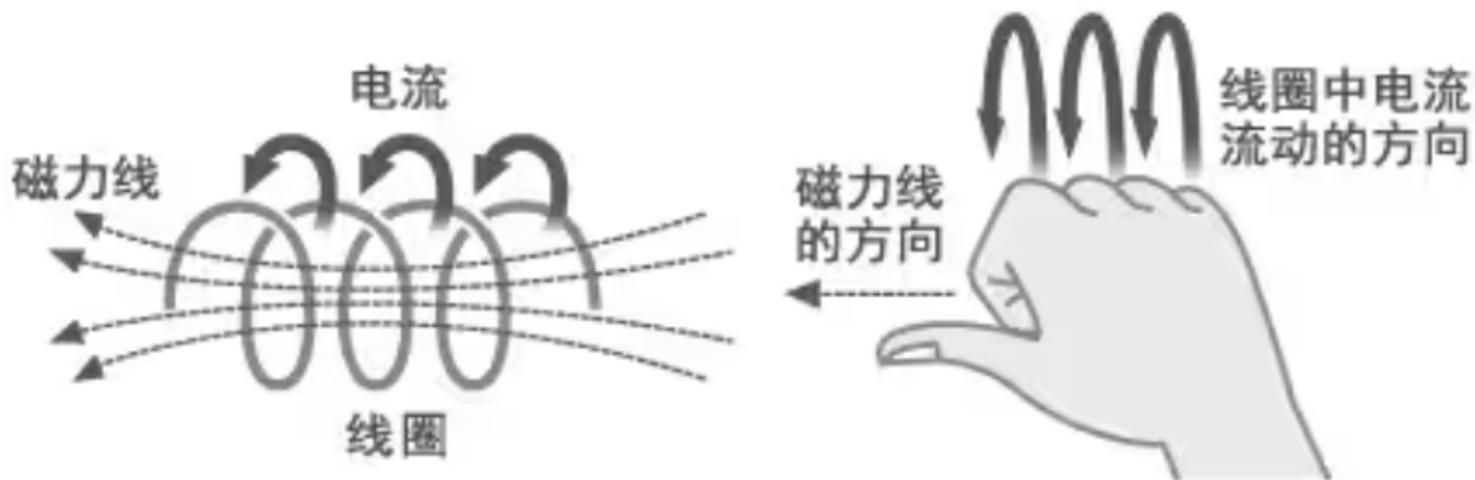
要点

电流向右手拇指方向流动时，其他4指的方向为磁力线的方向（与右手螺旋定则相同）。



要点

设右手的4指方向为线圈中电流流动的方向，则拇指方向为磁力线的方向。



电感：

6、电感的常用电感值：一般采用固定式标称容量系列:E24,E12,E6系列，分别使用的允许偏差是+/-5%， +/-10%， +/-20%， E6， E12， E24数值标准如下：

E6系列取值1.0、 1.5、 2.2、 3.3、 4.7、 6.8基础值或基础值乘以10的n次方。

E12系列取值1.0、 1.2、 1.5、 1.8、 2.2、 2.7、 3.3、 3.9、 4.7、 5.6、 6.8、 8.2基础值或基础值乘以10的n次方。

E24系列取值:10、 1.1、 1.2、 1.3、 1.5、 1.6、 1.8、 2.0、 2.2、 2.4、 2.7、 3.0、 3.3、 3.6、 3.9、 4.3、 4.7、 5.1、 5.6、 6.2、 6.8、 7.5、 8.2、 9.1基础值或基础值乘以10的n次方。

7、单位换算：

1亨利(H)= 10^3 毫亨(mH)= 10^6 微亨(μ H)= 10^9 纳亨(nH)

1 H = 1000 mH

1 mH = 1000 μ H

1 μ H = 1000 nH

电感：

8、电感的串联和并联：

- 当多个电感器串联时，总电感量等于各个电感器电感量之和。
- 串联电感器时，电流通过每个电感器的路径是相同的，但每个电感器产生的电压降是不同的。

- 总电感量 L_{total} 可以表示为：

$$L_{total} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

- 当多个电感器并联时，总电感量小于每个单独的电感量。
- 并联电感器时，总电流等于各个电感器电流之和，但每个电感器两端的电压相同。

- 总电感量 L_{total} 可以表示为：

$$\frac{1}{L_{total}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

电感：

9、电感的类型

- 空心电感：

没有磁芯，仅由导线绕制成线圈。

优点：无铁损、适用于高频电路、射频电路。

缺点：电感量较小，占用空间大。

- 铁芯电感：

线圈内有铁氧体或铁粉芯，增加电感量。

优点：电感量大，适用于低频电路。

缺点：有铁损，不适用于高频电路。

- 一体压注磁芯电感：

线圈和磁芯通过模压成型一次成型，结构紧凑。

优点：高电流处理能力，高效散热，适用于高频高密度应用。

缺点：成本较高，工艺复杂。

应用：DC-DC转换器、开关电源、电动汽车。

电感：

- 工字电感：

线圈绕在工字型磁芯上，通常有气隙以防止磁饱和。

优点：设计灵活，适用于低频和中频应用。

缺点：体积较大，效率较低。

- EE、EI电感

结构特点：由两个E形或EI磁芯拼合而成，中间柱上有线圈绕组，通常在中心柱留有气隙。

优点：磁路闭合效果好，漏磁小，适合高频应用。可以通过调整气隙大小来控制电感量和饱和特性。

缺点：结构相对复杂，需要精确加工。

应用：开关电源、功率电感、变压器、高频电感。

电感：

- 环形电感（Toroidal Inductor）

结构特点：线圈绕在环形（通常为铁氧体或铁粉芯）磁芯上，磁路封闭。

优点：漏磁极小，电感量高，效率高。适合高频和大电流应用。

缺点：制作较复杂，成本较高。

应用：高频电路、功率电感、电源滤波器、EMI滤波器。

- 共模电感（Common Mode Choke）

结构特点：两组线圈绕在同一个磁芯上，以抑制共模噪声

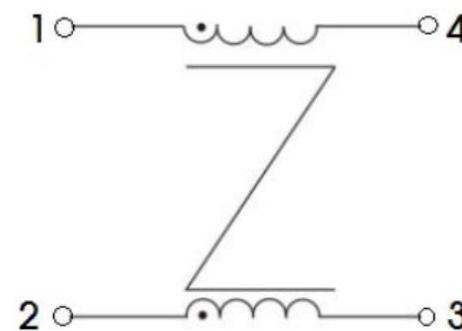
共模电感的绕法：1、双线并绕，2、两组线圈分开绕。

优点：有效抑制共模干扰，提高电路的抗干扰能力。

缺点：对差模信号的抑制效果有限。

应用：EMI滤波器、电源输入和输出端的噪声抑制。

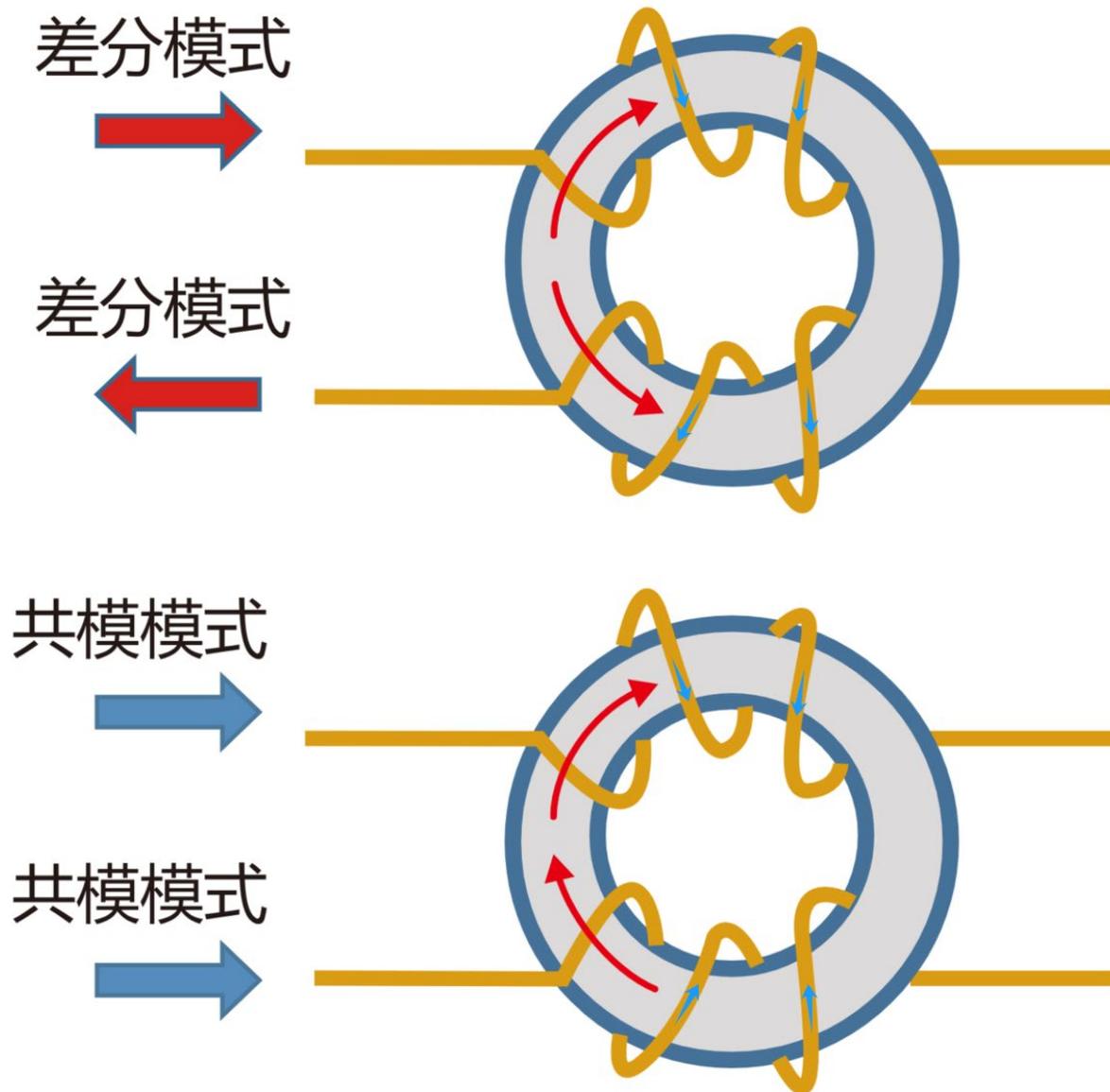
共模电感中的“Z”一样的符号Z= Zorro（佐罗），共模电感也叫 Zorro 电感也称 Zerro Inductor，有时简称为 Zerro。



电感：

- 共模电感与X2电容的组合
在差分模式下，环形磁芯中的磁场方向相反并且彼此抵消，因此它们不充当线圈（X2电容并联在电源线两端，可以在电源线L和N之间形成一个低阻抗路径，将高频的差模干扰旁路，从而抑制差模干扰的传播）。

在共模模式下，环形磁芯中的磁场方向相同，并且彼此增强，因此它们起着线圈的作用（30MHz以下的干扰选锰锌，30MHz- 1GHz选镍锌）。

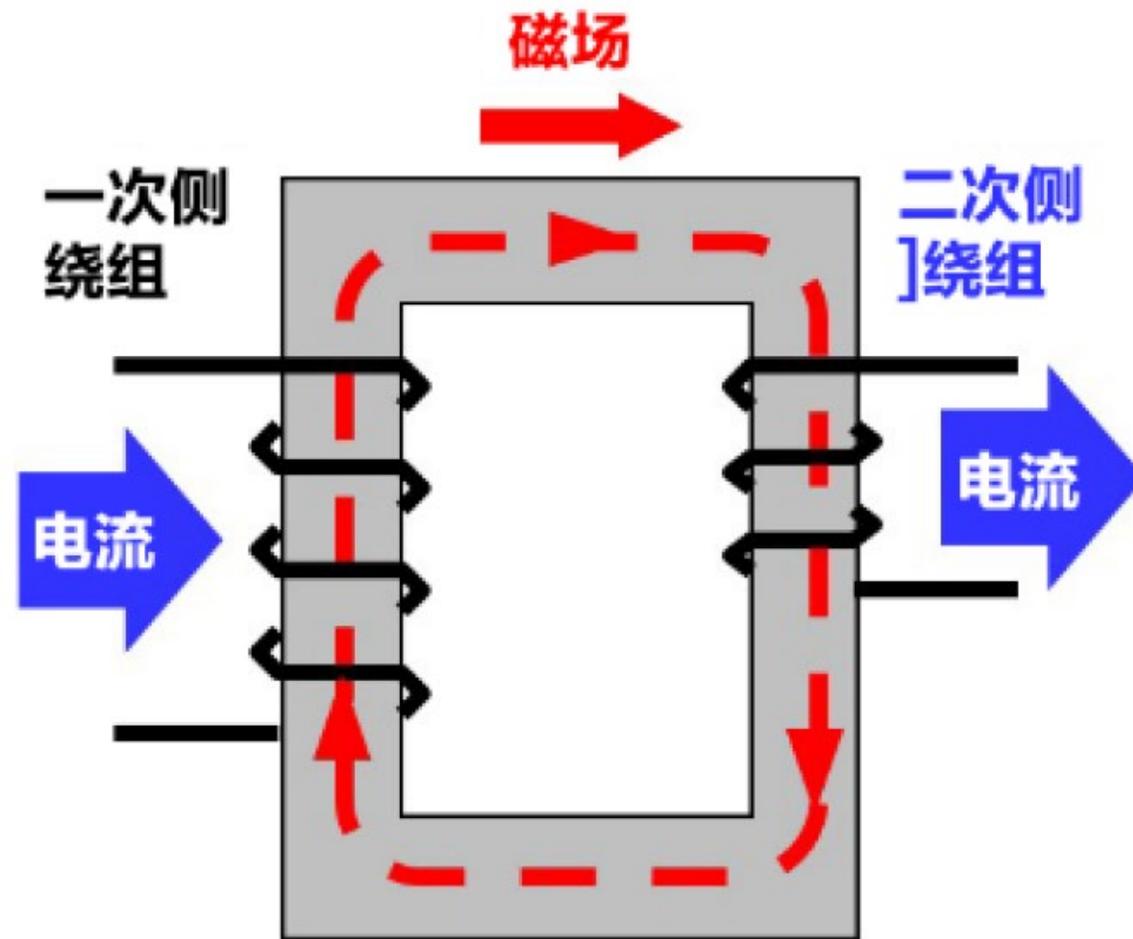


电感：

10、电感的应用

- 变压器：

当线圈中有电流通过时，线圈的周围就会产生磁场。当线圈中电流发生变化时，其周围的磁场也产生相应的变化，基于电感的互感原理，变压器用于电压转换和隔离。不同的初级和次级绕组匝数比决定了电压变比，一次侧和二次侧具有两个绕组的构造例子中，可以认为与变压器一样。如果让交流电流向一次侧绕组，变压器铁芯产生交变磁场，在该磁场的作用下，次级线圈就产生感应电动势。这是因为电磁感应而引起的，若是变压器时则称之为互感。

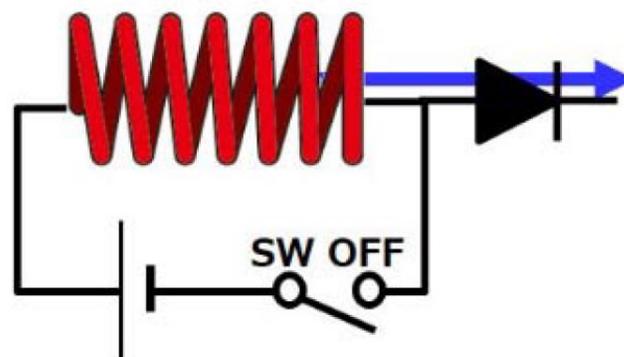
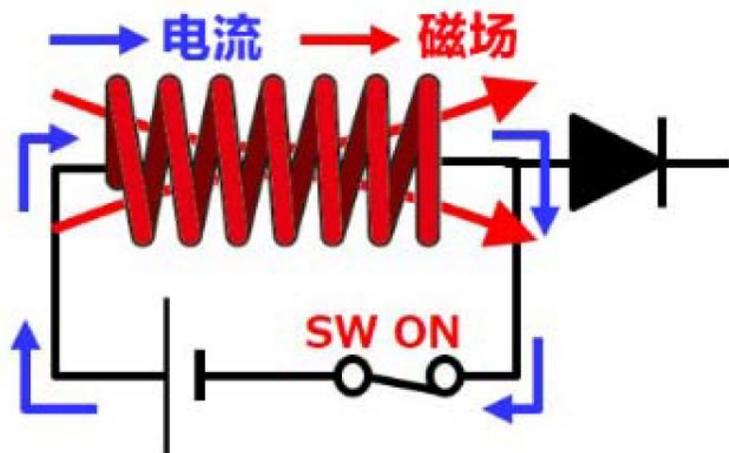


电感：

- 储能元件：

在开关电源和DC-DC转换器中，电感用于储存能量并平滑输出电压。在这些应用中，电感的高电流处理能力和低损耗至关重要。

电感器储能示例：如果将开关置于ON而让电流流向电感器，就会产生磁场，电感器上就会以磁能的形式将能量蓄积起来。如果将开关置于OFF而停止流向电感器的电流，之前被蓄积起来的磁能就会释放（磁场发生变化），电流就会流过。这也是因为电磁感应而引起的，若是以单独的绕组构成的电感器时则称之为自感。

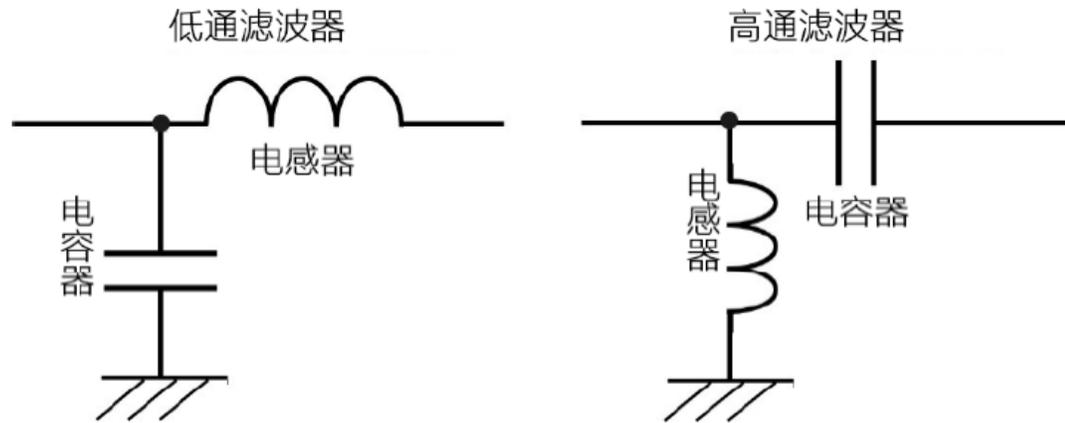


电感：

- 滤波器：

电感在滤波电路中常用来滤除交流成分，直流会流过，但交流不易流过，频率越高越不易流过 \Rightarrow 滤波器的作用，可借助阻抗因频率而发生变化，利用交流不易流过的特性，与电容器组合来构成低通滤波器和高通滤波器等。

LC滤波器、RL滤波器等应用广泛。



- 阻流圈：

在交流电路中，电感用作阻流圈，限制交流电流的通过。通过选择适当的电感量，可以调节电路的频率响应。

电感：

11、电感的选型和设计

- 电流和频率要求：
选择电感时，需要考虑电路中的电流大小和工作频率。
高频电路需要选择低损耗、高频特性好的电感。
- 电感量和电阻：
电感量必须满足电路的设计要求，通常通过计算和仿真确定。
线圈的直流电阻（DCR）需要尽量低，以减少能量损耗。
- 磁饱和：
需要考虑磁芯材料的饱和磁通密度，避免在工作电流下达到磁饱和。
可以通过设计气隙或选择高饱和磁通密度材料来提高抗饱和能力。
- Q值：
某一频率的电感器的感抗与电阻之比，是衡量电感性能的重要参数，表示电感的品质因数。Q值越高，越接近理想的电感器。以感抗 $X_L (= \omega L = 2 \pi f L)$ 除以ACR而得到的值来表示相对于频率有多大的损耗，从算式可以获知，如果ACR小Q就会升高。

电感：

12、锰锌铁氧体（MnZn）

高磁导率：锰锌铁氧体的磁导率较高，通常在1500至15000范围内。

较低的居里温度：锰锌铁氧体的居里温度（磁性消失的温度）通常在130°C到200°C之间。

较高的饱和磁通密度：MnZn铁氧体的饱和磁通密度较高，一般在0.3到0.5 T左右。

较低的电阻率：锰锌铁氧体的电阻率较低，通常在10到100 $\Omega\cdot\text{cm}$ 范围内。

适用频率范围：锰锌铁氧体适用于低频至中频应用，通常在1 kHz到几兆赫兹的范围内。

13、镍锌铁氧体（NiZn）

中等到低磁导率：镍锌铁氧体的磁导率较低，通常在100到1500范围内。

较高的居里温度：镍锌铁氧体的居里温度较高，通常在200°C到300°C之间。

较低的饱和磁通密度：NiZn铁氧体的饱和磁通密度较低，一般在0.2到0.3 T左右。

较高的电阻率：镍锌铁氧体的电阻率较高，通常在 10^6 到 10^9 $\Omega\cdot\text{cm}$ 范围内。

适用频率范围：镍锌铁氧体适用于高频应用，通常在几兆赫兹到几百兆赫兹的范围内。

电感：

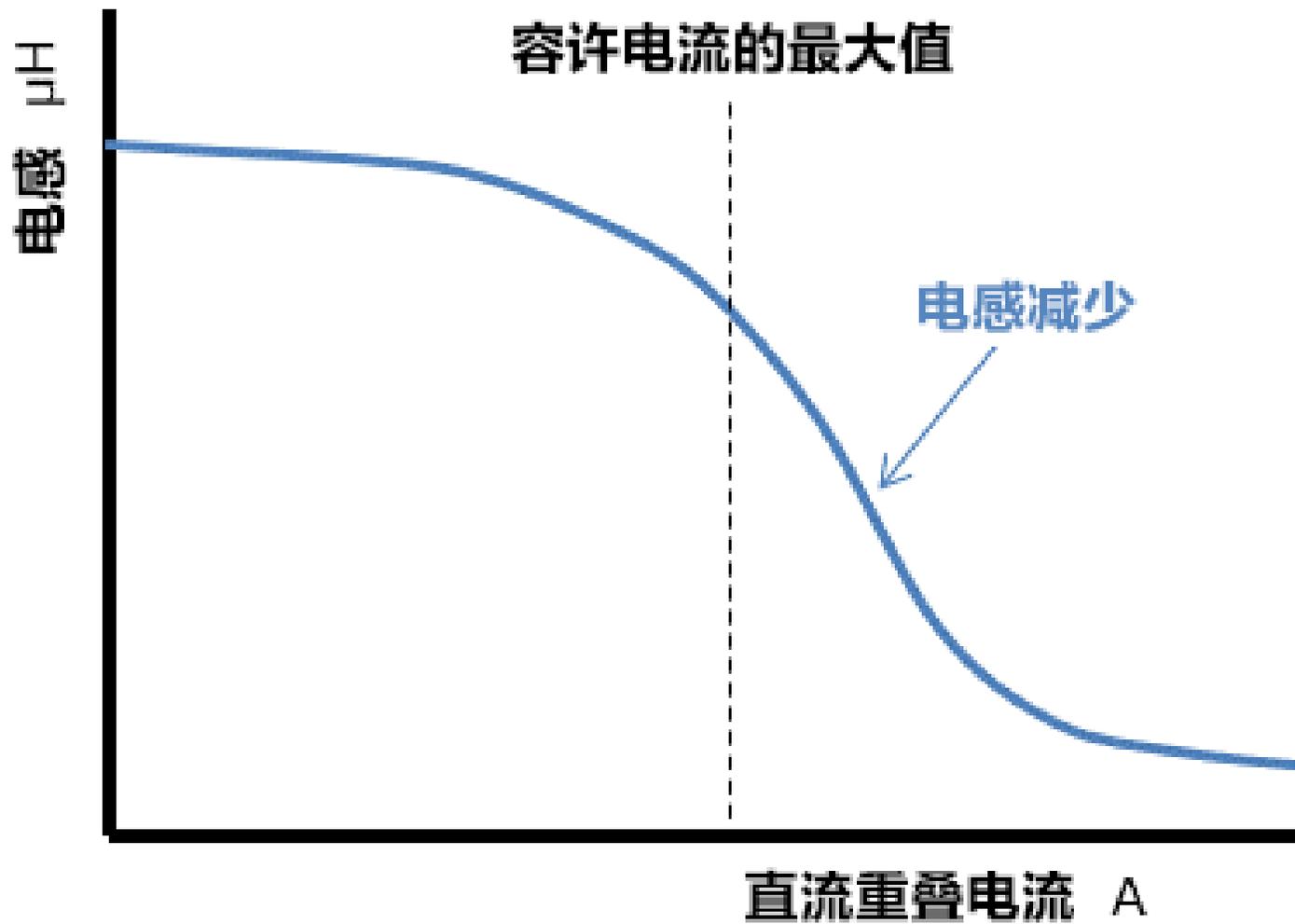
14、锰锌、镍锌对比。

属性	锰锌铁氧体 (MnZn)	镍锌铁氧体 (NiZn)
磁导率	高 (1500-15000)	中等到低 (100-1500)
居里温度	130°C到200°C	200°C到300°C
饱和磁通密度	高 (0.3-0.5 T)	较低 (0.2-0.3 T)
电阻率	低 (10-100 $\Omega\cdot\text{cm}$)	高 (10^6 - 10^9 $\Omega\cdot\text{cm}$)
适用频率范围	低频至中频 (1 kHz到几兆赫兹)	高频 (几兆赫兹到几百兆赫兹)
主要应用	开关电源变压器、滤波电感器、电力变压器	高频变压器、射频电感器、高频滤波器、EMI/RFI屏蔽

电感：

15、磁化曲线和磁饱和

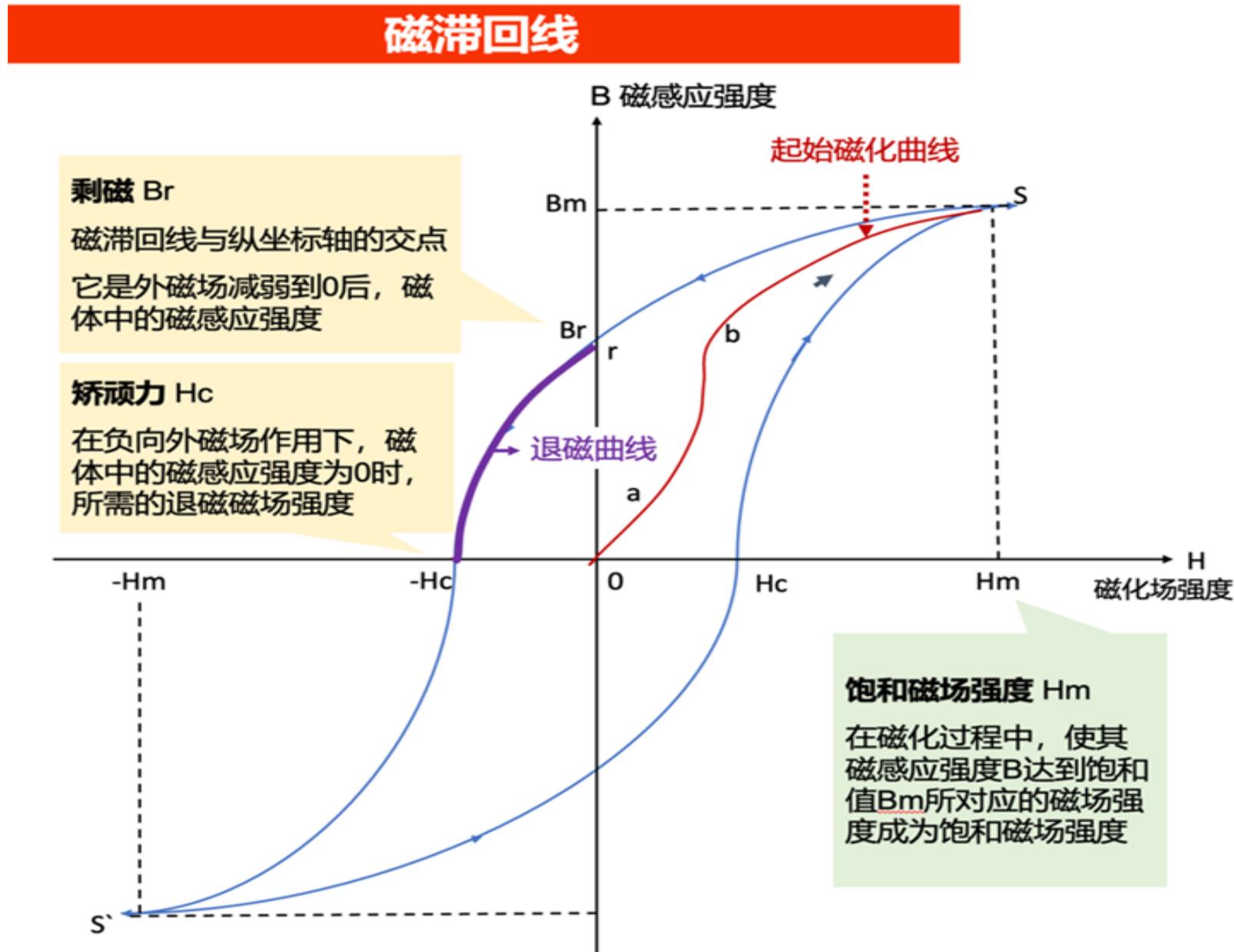
线圈产生的磁通(Φ)与电感(L)和流动的电流(I)呈比例关系。而且，由于电感与磁导率呈比例关系，因此如果磁芯使用高磁导率的磁性体，且通过的电流越大，产生的磁通越多。但是，磁性体汇集磁通的能力有限，如加大电流超过容许电流（直流重叠容许电流），则不久磁芯就会处于磁饱和状态。此时的磁通密度(B)称为最大磁通密度(B_m)。



电感：

16、磁滞回曲线（磁化曲线、退磁曲线）

硬磁性材料，如钕铁硼磁钢，有两个显著特征，一是在外磁场作用下能被强烈磁化，另一个是磁滞，即撤走外磁场后硬磁材料仍保留磁化状态，右图为硬磁材料的磁感应强度 B 与磁化场强度 H 之间的关系曲线。

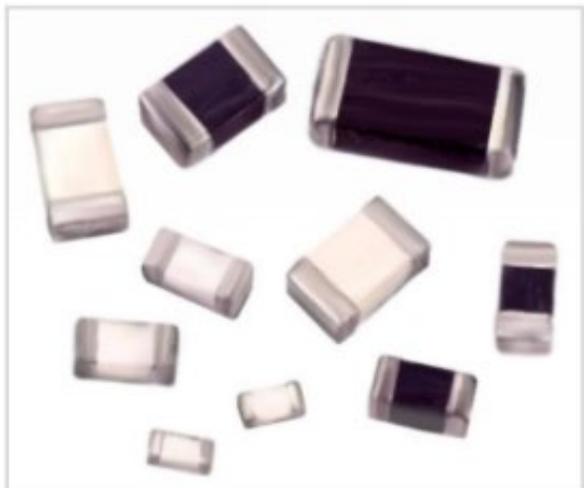


电感：

- **起始磁化曲线：**图中的原点O表示磁化之前硬磁物质处于磁中性状态，即 $B=H=0$ ，当磁场H从零开始增加时，磁感应强度B随之缓慢上升，如线段oa所示，继之B随H迅速增长，如ab所示，其后B的增长又趋缓慢，并当H增至 H_s 时，B到达饱和值 B_s ，这条红色曲线称为**起始磁化曲线**。
- **磁滞：**当磁场从 H_s 逐渐减小至零，磁感应强度B并不沿起始磁化曲线恢复到“0”点，而是沿另一条新的曲线sr下降，比较线段Os和sr可知，H减小B相应也减小，但B的变化滞后于H的变化，这现象称为**磁滞**，磁滞的明显特征是当 $H=0$ 时，B不为零，而保留剩磁 B_r 。
- **退磁曲线：**当磁场反向从0逐渐变至 $-H_c$ 时，磁感应强度B消失，说明要消除剩磁，必须施加反向磁场， H_c 称为**矫顽力**，它的大小反映磁性材料保持剩磁状态的能力，紫色线段称为**退磁曲线**。
- **铁磁材料分为硬磁和软磁两类：**硬磁材料（如铸钢）的磁滞回线宽，剩磁和矫顽磁力较大（120-20000 安/米，甚至更高），因而磁化后，它的磁感应强度能保持，适宜制作**永久磁铁**。软磁材料（如硅钢片）的磁滞回线窄，矫顽磁力小（一般小于120 安/米），但它的磁导率和饱和磁感应强度大，容易磁化和去磁，故常用于制造电机、变压器和电磁铁。铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线是该材料的重要特性。

电感：

17、
电感
种类。



贴片电感



功率电容



色环电感



工字电感



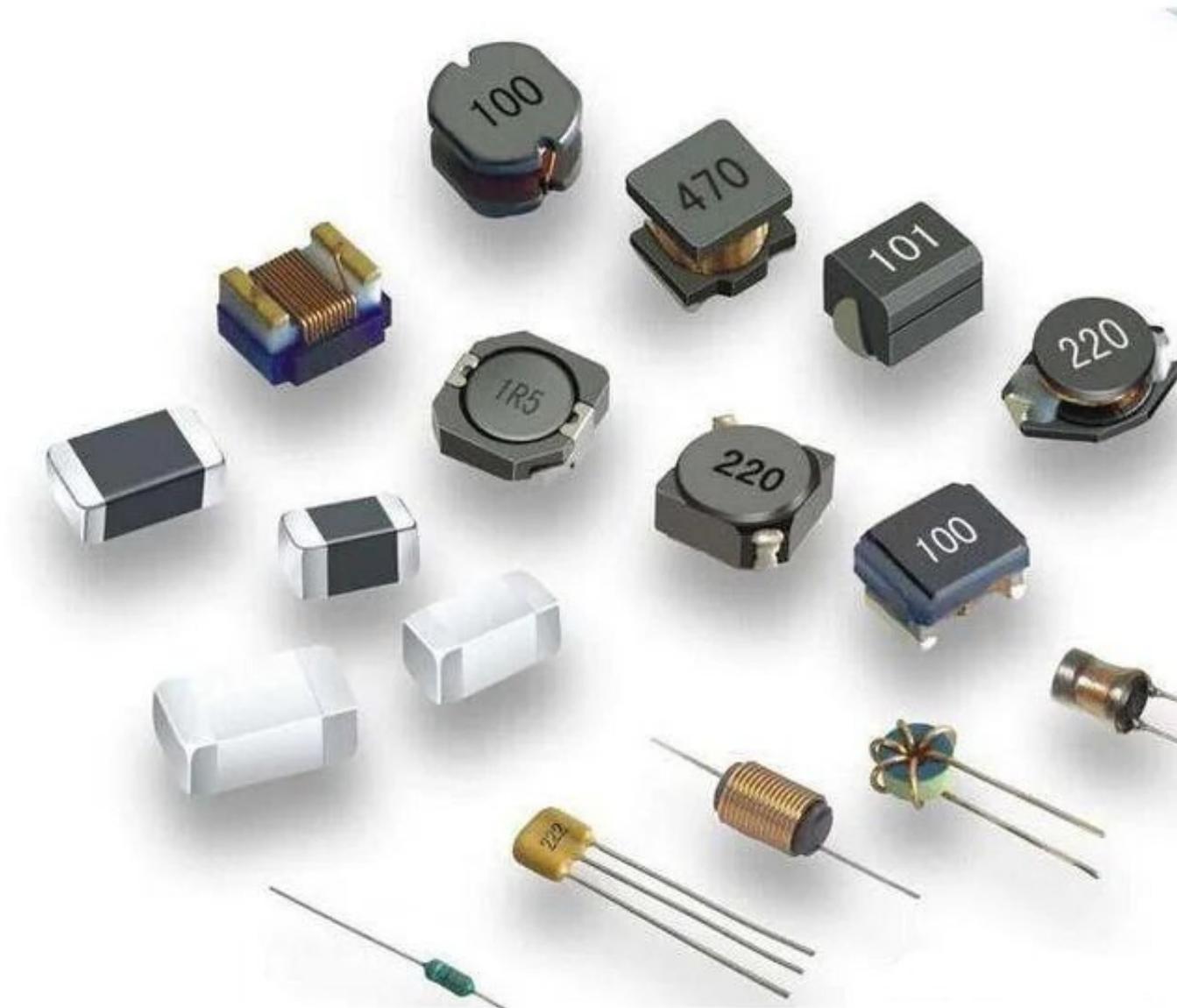
共模电感



可调电感

电感：

18、电感种类。



THANKS

谢谢

