



## 什麼是電感？

[Web: www.token.com.tw](http://www.token.com.tw)

<mailto:rfq@token.com.tw>

### 德鍵電子工業股份有限公司

台灣： 台灣省新北市五股區中興路一段 137 號  
電話： +886 2981 0109 傳真： +886 2988 7487

大陸： 廣東省深圳市南山區創業路中興工業城綜合樓 12 樓  
電話： +86 755 26055363； 傳真： +86 755 26055365



## ▶ 何謂電感

### 什麼是電感？

被動組件設計用來抵禦電流的變化。

電感器通常稱為“交流電阻”。電感器最主要的特性是抵抗電流變化的能力和儲存能量在其磁場。電流穿過電感會產生磁場。變化的磁場誘發電壓並抑制電流產生。此抑制電流變化的屬性被稱為電感。

一般來說，時間變化的電壓  $v(t)$ ，電感量  $L$ ，和時間變化的電流  $i(t)$  之間的關係，可以微分公式如下：

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

當正弦交流電（AC）通過一個電感器，一個正弦電壓被誘發。



電感符號



## ▶ 磁芯類型

### 磁芯類型

#### 環形磁芯 Toroidal Core

繞電感線於磁環上構建電感器像似甜甜圈的形狀。許多磁芯材料可應用於環形磁芯，基本類型有四個：鐵氧體，鐵粉，合金，高通量和帶繞磁芯。環形電感器的特點包括：自屏蔽（非磁性路徑），能量轉移效率，高耦合線圈和早期飽和。

#### “E” 磁芯

“E” 磁芯形狀像一個“E”和在一個封閉磁路，像一個環形的核心時，配置為無間隙。有間隙的“E”磁芯有一個半開放磁路。有間隙的“E”磁芯的優勢是可以獲取更高的電感值，然後才能達到飽和。



## 磁鐵心材料

### 磁鐵心材料

#### 陶瓷磁芯 Ceramic Cores

陶瓷是一種用於製做電感磁芯的常見的材料。它的主要功能是提供支撐線圈的結構。在有些設計上它的結構也便於引腳定位。陶瓷具有非常低的熱膨脹係數，這使得在操作溫度的範圍內，電感有較好的感值穩定性。陶瓷並不具磁性，因此並不會增加導磁率，陶瓷線圈電感通常歸類於空心線圈電感。陶瓷線圈電感大都使用在要求低感量，低磁芯損耗，高 Q 值（品質係數）的高頻的產品。

#### 鐵氧體磁芯 Ferrite Core

鐵氧磁體是一種磁性材料，由鐵及其他元素的氧化物所構成的晶體結構。這種晶體結構是在高溫及特定的方式，時間下將鐵氧磁體材料燒結而得，其一般的組成為  $xxFe_2O_4$ ，其中 xx 代表一種或好幾種金屬，最為常見的金屬組合為錳和鋅 (MnZn) 及鎳和鋅 (NiZn)，這些金屬都很容易被磁化。

#### Kool Mu® 磁芯 Kool Mu® Core

\* Kool Mu® 是一種磁性材料，內部含有氣隙。與其它磁性材料（例如鐵氧體）比較，由於存在分佈的氣隙，磁芯可以存儲較大的磁能。由於具有這樣的特性，電感器可以流過更大的直流電流，而電感器仍未飽和。\* Kool Mu® 材料主要包含鎳和鐵粉（每一種大約為 50%），有幾種導磁率不同的產品。它的導磁率高於粉末鐵磁材料，磁芯損耗也比較小。\* Kool Mu® 是在高壓下壓制而成的，壓力比壓制粉末鐵磁材料時的壓力高得多。製造工藝包括一道退火工序，消除粉末金屬中的應力，恢復所需要的磁性。於是，與粉末鐵磁材料相比，燒結粉末狀的鐵粒需要更強的高溫絕熱性能。\* Kool Mu® 在開關式電源中的性能很好。成本則比粉末鐵磁材料高得多。

#### MPP 磁芯 MPP Core

MPP 是聚合物合金粉末的簡稱。這一種磁性材料具有按一定方式分佈的氣隙。與鐵氧體等其他磁性材料相比，由於這種材料存在分佈的氣隙，磁芯可以存儲較大的磁通量。由於具有這種特性，流過電感器的直流電流可以比較大，而電感器仍不會飽和。它的基本成份是鎳、鐵及鉬。比例為鎳占 80%，鉬占 2%~3%，其餘為鐵。製造工藝中有一個步驟是退火，在 Kool Mu® 的定義中已經討論過。MPP 能存儲較大數量的能量，導磁率高於 Kool Mu®。有十多種導磁率的磁芯供選擇。由於磁芯的特性，電感器的性能較好，適合用於開關式電源。由於磁芯能夠存儲較大的能量，流過電感器直流電流可以更大，而磁芯仍不會飽和。MPP 磁芯的成本比尺寸相同的 Kool Mu® 磁芯、粉末磁芯及大多數鐵氧體磁芯的成本高很多。

#### 粉狀鐵磁芯 Powdered iron Core

粉狀鐵是一種磁性材料，其內分佈著許多氣隙，與其他之磁性材料如鐵氧磁體比較起來，此分散的氣隙使得鐵芯能儲存較高的磁通量，這種特性使得在電感達飽和之前得以允許通過較高的直流電流。粉狀鐵磁芯幾乎以 100% 鐵製造。鐵粒子間相互絕緣，混入黏結劑（如酚醛樹脂或環氧樹脂）再壓製成最後的磁芯形狀，最後再以烘烤製程固化。其他一些粉狀鐵磁芯的特性包括：一般它是最經濟的替代品且它的導磁率一般比鐵氧磁體有較穩定的溫度係數。

#### 疊片磁芯 Laminated Cores

把片狀磁性材料即鐵芯片一層一層疊起來構成的鐵芯。鐵芯片可採用不同材料和不同厚度的產品。有些鐵芯片的結晶被製作成一定的方向，目的是降低磁芯損耗以及提高導磁率。每個鐵芯片的表面是絕緣的，通常是一層氧化物。疊片磁芯用於某些電感器，但更多是用於各種變壓器。



## 電氣規格

### 電氣規格

#### 電感量 Inductance

此電路元件的特性，能抑制流經元件電流的改變。電感的電感量會受磁芯的材質、磁芯的形狀及尺寸、繞線的圈數及線圈的形狀所影響。電感器的電感量通常用微亨（ $\mu\text{H}$ ）來表示。下列的表格可以用來將電感值的單位換算成微亨。因此，

$$1 \text{ henry (H)} = 10^6 \mu\text{H}$$

$$1 \text{ millihenry (mH)} = 10^3 \mu\text{H}$$

$$1 \text{ microhenry } (\mu\text{H}) = 1 \mu\text{H}$$

$$1 \text{ nanohenry (nH)} = 10^{-3} \mu\text{H}$$

#### 直流阻抗 DCR (DC Resistance)

電感線圈在非交流電下所測量的電阻值。在電感設計中，直流阻抗愈小愈好，其測量單位為歐姆，通常標註其最大值。

#### 飽和電流 Saturation Current

在電感器中流過、引起電感量下降特定量的直流偏置電流。電感量下降的值是從直流電流為零時的電感量開始計算。通常定義的電感值下降百分比有 10% 及 20%。在儲存能量的應用中，鐵氧體磁芯的電感量下降規定為 10% 及粉末磁芯的電感量下降規定為 20%。

因此直流偏壓電流而致電感值下降的因素與磁芯的磁性有關。磁芯和磁芯周圍的空間只能存儲一定量的磁能。超出最大的磁通量密度點後，磁芯的導磁率會降低。因此，電感值會因而下降。空心電感並不存在磁芯飽和的問題

#### 增量電流 Incremental Current

指流經電感的直流偏壓電流，與沒有直流偏壓電流的電感量相比，這個電流會引起電感量下降 5%。這個電流強度說明電感值在持續增加的直流偏壓下將急速地下降。這個結果適用於鐵氧體磁芯，但不適用於粉狀磁芯。粉狀磁芯具有“軟性”的飽和特性，意思是指在較高的直流偏壓下，其電感量的下降較鐵氧磁芯來的緩和。同時，電感值下降的速率亦和鐵芯的形狀有關。

#### 額定電流 Rated Current

允許能通過電感的連續直流電流強度。是指電感器處在額定最高環境溫度的環境中，電感器溫升最高時，可以連續流過的直流電流的大小。額定電流與電感值由低的直流電阻以降低繞組的功耗的能力有關。它也與電感器把繞組的功耗散發出去的能力有關。

因此，降低直流電阻或者增大電感器的尺寸可以提高額定電流。對於低頻電流波形，可以用有效值電流代替額定直流電流。額定電流與電感器的磁性無關。

#### 導磁率 Permeability (Core)

磁芯的導磁率是指令磁芯具有集中磁通線的能力的特性。磁芯的材質及磁芯的形狀會影響磁芯的“有效導磁率”。對一個已知的磁芯形狀、尺寸及材質和特定的繞組，具較高導磁率的磁性材質與較低導磁率的材質比較起來，會有較高的電感值。



## 自諧頻率 SRF (Self-Resonant Frequency)

電感器中的分佈電容與電感形成諧振時的頻率。此時電感的感抗等於電容的容抗，並且互相抵消。電感在自諧頻率點時，顯現出高阻抗值的純電阻狀態。

分佈電容是由於各層線圈一層層疊著並且是繞在磁芯上而形成的。此電容是並聯於電感。當頻率高於自諧頻率時，此並聯的容抗會主導元件的特性。

而且，此電感的品質係數於自諧頻率時會為零，因為此時的感抗等於零。自諧頻率以 MHz 標示，且在產品的資料表內以最小值登載。

## 分佈電容值 Distributed Capacitance

在電感的結構中，每一圈的導線或導體都起電容器極板的作用。其每圈結合起來的效果，有如單一的電容值，稱之分佈電容值。分佈電容是與電感器並聯著的。電感和分佈電容的並聯電路會在某個頻率產生諧振，這個頻率稱作自諧頻率 (SRF)。一個電感器的分佈電容越小，它的自諧振頻率就越高；相反，如果分佈電容越大，它的自振頻率就越低。

## 品質係數 Q

電感的品質係數是量測電感相對損耗的指標。這 Q 值被稱為“品質係數”，它的定義為感抗 (XL) 對有效電阻 (Re) 之比，如下所示：

$$Q = \{XL\} / \{Re\} = \{2\pi fL\} / \{Re\}$$

因為感抗及有效電阻都相關於頻率，當要確定品質係數時需指定一個測試頻率。在低頻時，感抗的增高一般隨頻率的增加速率比有效電阻來的大，在高頻時掉的也快。故品質係數對頻率的關係形成鐘型的曲線。有效電阻主要由繞組的直流電阻、鐵芯損耗及集膚效應所造成。由上列的公式可看出在自諧頻率時的品質係數為零，因為此時的電感值為零。

## 阻抗 Impedance

電感的阻抗值是指其在電流下所有的阻抗的總和，包含了交流及直流的部份，直流部份的阻抗值僅僅是繞線的直流電阻，交流部份的阻抗值則包括電感的電抗。

下列的方程式用來計算理想電感（沒有能量損失）在正弦波交流訊號下的電抗：

$$Z = XL = 2\pi fL$$

L 的單位為亨利而 f 的單位為赫茲，此方程式說明較高的阻抗值可由較高的電感值或在較高的頻率下得到，此外，集膚效應及鐵損亦會增加電感的阻抗值。

## 操作溫度範圍 Operating temperature range

元組件可以持續操作的整體環境溫度範圍，操作溫度範圍不同於儲存溫度，因操作溫度範圍包括元組件本身的熱功耗，熱功耗相當於銅損，公式計算如下：

$$\text{功耗} = (DCR) (I_{dc}^2)$$

$$\text{最大操作溫度} = \text{儲存溫度} - \text{自我溫升}$$

功耗導致元組件自身溫度高於環境溫度。因此，最大的操作溫度範圍應低於最大的儲存溫度。

### ▶ 電感器類型

#### 電感器類型

##### 線繞電感

- 線軸式電感線圈
- 環形電感線圈

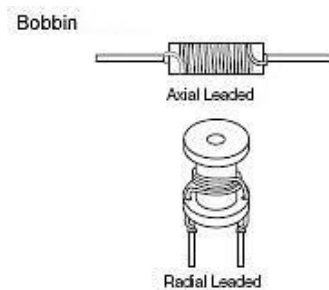
##### 多層鐵氧體電感

- 磁珠
- 電感器

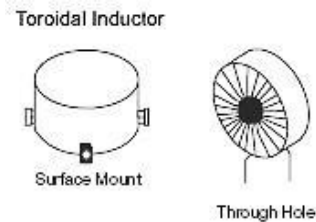
##### 多層陶瓷電感

##### 薄膜電感

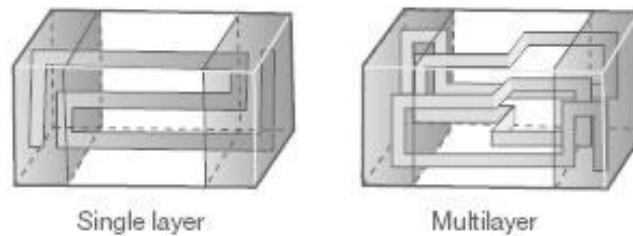
##### 激光切割電感



#### Single layer & Multilayer Inductor



#### Toroidal Inductor



#### Bobbin Inductor

## 性能因素

### 性能的影響因素

#### 銅損 Copper Loss

電流流經線圈所產生的能量損失，此能量損失等於電流大小的平方乘上線圈的電阻 ( $I^2R$ )，這些能量損失將轉換成熱能。

#### 磁芯損耗 Core Losses

磁芯損耗是由於磁芯材料中的交變磁場引起的。磁芯損耗與頻率及磁通量變化幅度有關。總磁芯損耗包含三個分量：磁滯損耗，渦流損耗，以及殘餘損耗。對於不同材料，這三個分量的差別很大。大功率，高頻開關穩壓器和 RF (高頻) 的設計要求細心選擇磁芯，儘量降低磁芯損耗，以便電感器具有優異的性能。

#### 渦流損耗 Eddy Current Losses

在電感器的磁芯及繞組中都存在渦流損耗。繞組 (或者導體) 中的渦流損耗有兩種類型：鄰近效應和趨膚效應引起的渦流損耗。至於磁芯損耗，在磁場中，磁力線四周的電場是由交變磁力線所產生的，如果磁芯材料存在導電性，就會產生渦流。渦流在一個垂直於磁力線的平面中流動，由於這個現象而造成損耗。

#### 集膚效應 Skin Effect

集膚效應是指交流電流較傾向於在導體的表面傳導而不是在導體的整個橫截面上均勻地流動。此現象會造成導體的電阻提高。

導體中的電流產生的磁場會在導體的中間產生渦流，它與導體中間原來的電流方向是相反的。隨著頻率的升高，主電流被迫靠近導體的表面流動。

#### 絞合漆包銅線 Litz Wire

用互相絕緣的若干股導線編排在一起，或捆在一起的多股導線，每一根導線在整束線橫截面上的位置都儘可能固定如同一體。每根導線的磁交鏈值及電阻值都是平均的，致使電流能平均的分流至每根導線。換句話說，絞合線比實芯線有較低的交流損耗，更適用於高頻產品。

#### 居里溫度 Curie Temperature

鐵氧體磁芯失去磁性的溫度。當溫度接近居里溫度時，磁芯的導磁率劇急上升，引起電感量增加。但是到了居里溫度，導磁率下降到接近 1，導致電感量急遽下降。居里點是指導磁率下降到室溫導磁率的 10% 的溫度。





## ▶ 相關電氣特性

### 相關電氣特性

#### 直流阻抗 DCR

電感線圈在非交流電下所測量的電阻值。在電感設計中，直流阻抗愈小愈好，其量測單位為歐姆，通常標註其最大值。

#### 額定電流 Rated Current

在一個給定的設計，因為電感量（匝線）增加，額定電流下降。如果磁芯的磁導率是增加，繞線組的圈數可以減少，額定電流將上升。

#### 增量電流 Incremental Current

在一個給定的設計，因為電感量（匝線）上升，增量電流下降。

如果磁芯的磁導率是增加，繞線組的圈數可以減少，增量電流可能會增加或減少。\*

\* 如果增加磁導率在磁芯飽和點下降，實際增量電流可以下降。

#### 自諧頻率 SRF

電感器中的分佈電容與電感形成諧振時的頻率。此時電感的感抗等於電容的容抗，並且互相抵消。電感在自諧頻率點時，顯現出高阻抗值的純電阻狀態。分佈電容是由於各層線圈一層層疊著並且是繞在磁心上而形成的。此電容是併聯於電感。當頻率高於自諧頻率時，此併聯之容抗會主導元件的特性。而且，此電感之品質係數於自諧頻率時會為零，因此時之感抗等於零。自諧頻率以 MHz 標示，且在產品的資料表內以最小值登載。

#### 品質係數 “Q”

在一個給定的設計，因為電感量（匝線）上升，Q 值下降。

如果磁芯的磁導率增加，繞線組的圈數可以減少，增量電流可能會增加或減少。\*

較高的 Q 值通常表示一個電感有更多的選擇性濾波器。應用於的射頻電路的電感器通常具有高 Q 值的，使他們有更多的頻率選擇性。

較低的 Q 值通常表示較廣泛的頻率衰減。鐵氧體磁珠具有低 Q 值，並因此被視為寬帶濾波器。

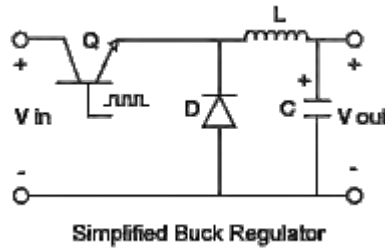
\* 如果增加磁導率會導致阻抗增加，Q 值降低於某一頻率點。

## ▶ 電感器應用

### 電感器的應用

#### 降壓穩壓器（直流-直流）Buck Regulator (DC-DC)

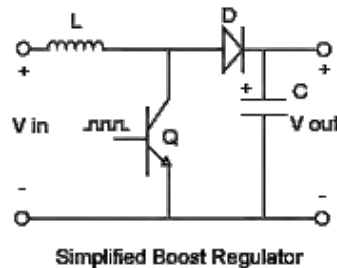
基本的 DC-DC 轉換器電路，是將未經穩壓的輸入電壓，在輸出端產生數值較低、穩壓了的輸出電壓。這個輸出電壓，是通過一個串聯的開關（電晶體）對輸入電壓進行限幅而將形成的脈衝，加到起平均作用的電感器和電容器的電路上。



簡易型降壓穩壓器

#### 升壓穩壓器（直流-直流）Boost Regulator (DC-DC)

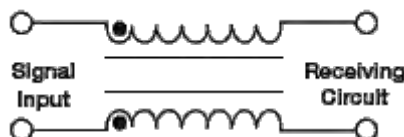
基本的 DC-DC 開關穩壓器電路，是將未經穩壓的輸入電壓，轉換成一個數值較高、已經穩壓的輸出電壓。這個較高的輸出電壓，是通過輸入端的一個電感對輸入電壓，進行充能並經由一個并聯的開關（電晶體）的開和關轉換後輸出。



簡易型升壓穩壓器

#### Common-Mode Choke

用於共模噪聲衰減或電子干擾，普遍常見於電氣線路有關於接地。共模扼流圈其實是一個變壓器配置，常見的噪音自消的變壓器。



Use Common Mode Choke  
Between Signal Lines

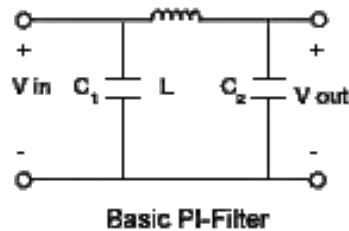
Use Common Mode Choke Between Signal Lines

## 濾波器 Filter

一種電路者裝置，它的作用是在一個給定的頻率上，或者在一定範圍的頻率內控制電能。不同種類的被動元件，常被用來建構不同的濾波器，這些被動元件包含電阻，電容，及電感。

## PI-濾波器 PI-Filter

由兩個並聯起來的電容器和一個串聯著的電感器所組成的濾波器。這種濾波器在 DC-DC 轉換器中通常用於濾除脈動電流和脈動電壓。



基本型 PI-濾波器

## 輸入線濾波器 Input Line Filter

連接在一個電路輸入端或者一個組合電路輸入端的電源濾波器。它的作用是把來自電源線的雜訊清除掉。濾波器是設計成清除某一個頻帶中的雜訊。低通濾波器是一種典型的輸入濾波器，它讓低頻信號通過，例如直流電源；但是把高頻信號（其中的主要成份是雜訊）衰減掉。帶通或低通濾波器通常由電感及電容搭配而成。

## 匹配阻抗 Matched Impedance

指一個存在的條件，當調整兩個耦合電路使得其中電路的輸出阻抗與另一電路的輸入阻抗相等時稱之。當他們的連接阻抗相等時，兩電路間的能量損失最低。

## 電磁波干擾 EMI

EMI 是 Electromagnetic Interference（電磁波干擾）之縮寫，不論它是什麼形式，都是不需要的電能，EMI 通常與“NOISE”（雜訊）一詞可以互相代替使用。

## 雜訊 Noise

指在電路中與所要之訊號無關之多餘電能。雜訊的來源通常由一些開關電路所造成。常見的雜訊源為開關式穩壓器及時鐘信號，例如數位電路中的時鐘信號。