

磁性材料介绍和磁性元件应用

前言

有关磁性的发现和应用早在吕氏春秋季秋篇中载有[慈石召鐵, 或引之也], 后漢時期發明的[司南]湯匙狀的指南針. 但毕竟只是单一地应用了天然的磁性材料(磁石)。

人类注意于磁性材料的性能特点、经过最近百年的发展, 磁性材料已经形成了一个庞大的家族。

1) 按材料的磁特性来划分, 有软磁、硬磁(永磁)、旋磁、记忆磁、压磁等;

2) 按材料构成来划分, 有合金磁性材料, 铁氧体磁性材料。

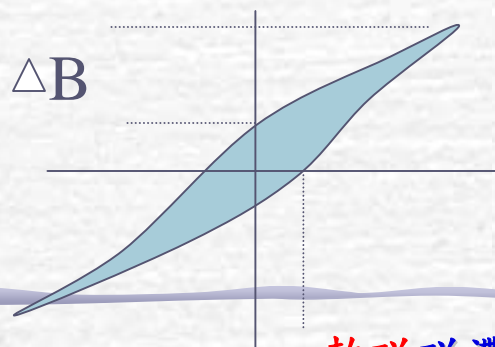
一. 磁性材料基本介紹

1. 磁性材料分類:

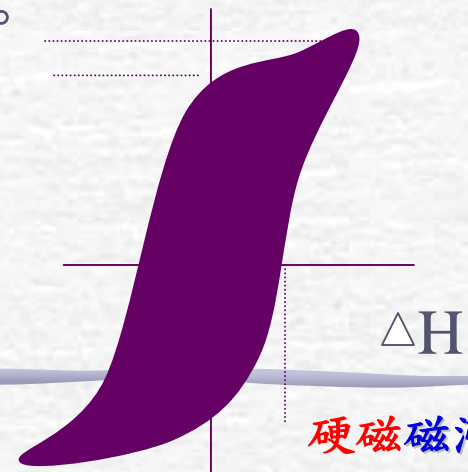
磁性材料主要分為：**軟磁材料**和**硬磁材料**。

(1). **軟磁材料**的主要特點是易磁化易退磁，大部分的軟磁材料容易被磁化，施加很小的磁場，即可使之磁化飽和而得到飽和磁化量，一旦外加磁場消失，感應磁化隨即消失，材料本身無保持磁化的能力，此類材料被稱為軟磁材料。

(2). **硬磁材料**的主要特點與軟磁相反，經飽和磁化後當外磁場去除時磁性並不完全消失，而能在較長時間內仍保留相當強的磁性，此類材料被稱為**永磁材料**。



軟磁磁滯曲線



硬磁磁滯曲線

2. 磁性材料种类

			镍铁合金 (Ni 鋼片)
		合金軟磁材料	硅鐵合金 (Si 鋼片)
			非晶合金
			Al Mo Co 合金永磁
			Al Ni Co 磁鋼
		合金永磁材料	Co鋼
			稀土金屬永磁
	合金磁性材料		
		合金半永磁材料	磁滯電機轉子 存儲器
			電子開關
		合金矩磁材料	金屬磁性薄膜
			合金矩磁
無機磁性材料			
		合金磁致伸縮材料	
		鐵氧体軟磁材料	Mn-Zn-Fe Ni-Zn-Fe
		鐵氧体永磁材料	Sr-Fe Ba-Fe
		鐵氧体旋磁材料	***矩磁, 電子可按軌道自旋
	鐵氧体磁性材料	鐵氧体矩磁材料	***旋磁, 電子可視為始終處於自旋狀態
		鐵氧体壓磁材料	

***合金磁性材料&鐵氧体磁性材料，均分为軟磁材料&永磁材料。

3.常用材質的性質比較

特性	非晶質合金 (Amorphous)	導磁合金 (Permalloy)	鐵氧體 (Ferrite)
鐵損	優	普通	優
導磁率	優	優	優
飽和磁通	優	普通	劣
溫度影響	普通	優	普通
加工性	劣	優	優
價格	普通	普通	優

4. 磁滯曲線(B-H曲線)

B : 磁通密度, 單位為Gauss(高斯);

H : 磁場強度, 單位為Oe(奧斯特);

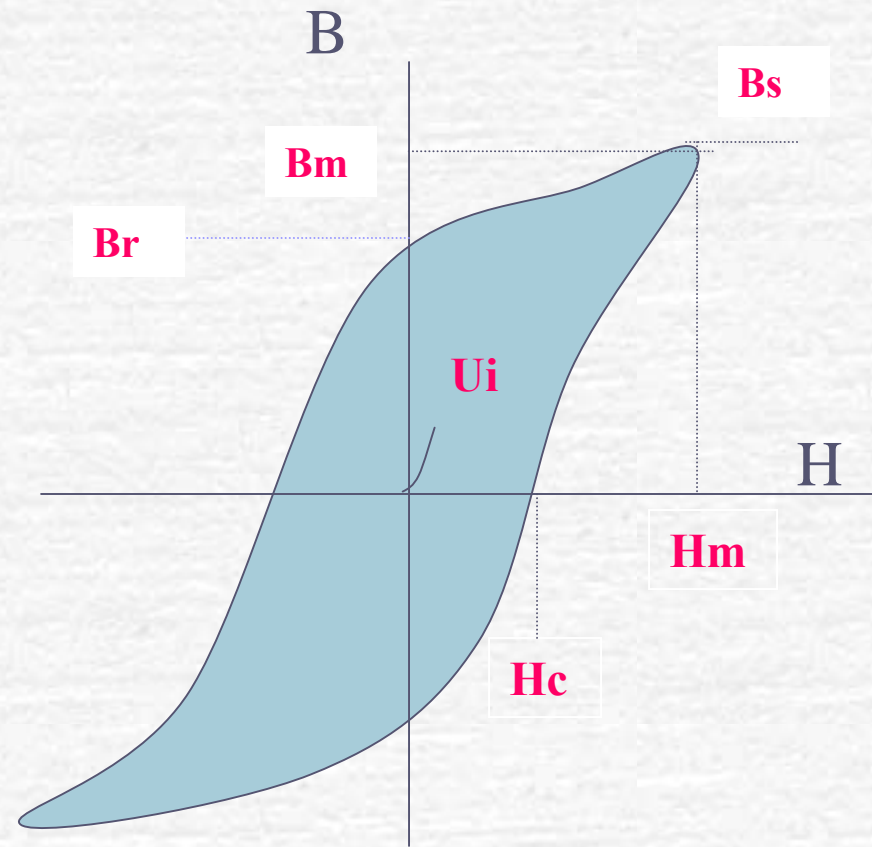
Bs : 飽和磁感應強度, 其大小取決於材料的成分, 它所對應的物理狀態是材料內部的磁化**矢量整齊排列**;

Br : 剩餘磁感應強度, 是磁滯回線上的特征參數, H回到0時的B值, 矩形比 : Br/Bs;

Hc : 抗磁力(矯頑磁力)時表示材料磁化難易程度的量,

Bm : 最大磁通密度;

Hm : 最大磁場強度



***磁場強度[A/m]奧斯特 安培/米,沿磁場方向相隔1米之兩點間的磁動勢,即為1(A)磁場強度.

***磁通密度[T或Wb/m²]特斯拉 或韋伯/米平方, 与磁通方向垂直每1(m²)平面上為1(Wb)時的磁通密度

5. 磁性材料導磁率

1. Absolute permeability:

絕對導磁率 $\mu = \frac{B}{H}$

2. Initial permeability:

初始導磁率 $\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \times \frac{\Delta B}{\Delta H} (\Delta H \rightarrow 0)$

3. Amplitude permeability:

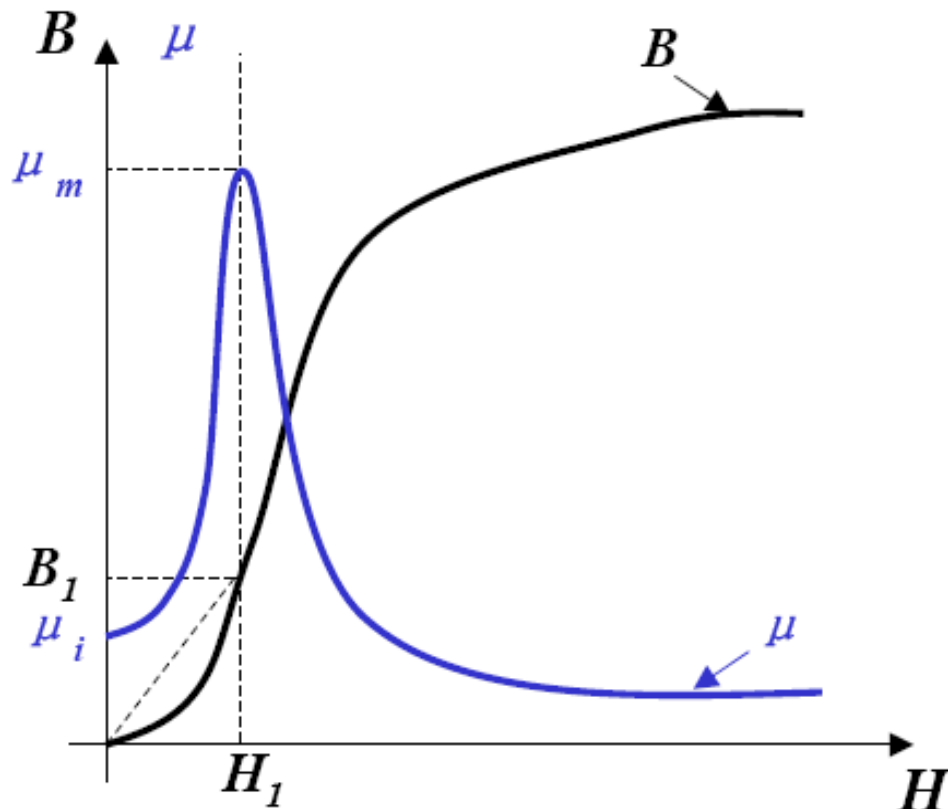
振幅導磁率 $\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \times \frac{B}{H}$

4. Incremental permeability:

增量導磁率 $\mu_{\Delta} = \frac{1}{\mu_0} \times \left[\frac{\Delta B}{\Delta H} \right]_{H_{DC}}$

5. Effective permeability:

有效導磁率 $\mu_e = \frac{1}{\frac{1}{\mu_i} + \frac{l_g}{l_e}}$



其中: 真空導磁率 μ_0

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

有效導磁率

6. Mn-Zn和Ni-Zn

鐵氧體成份

Mn-Zn鐵氧體Ni-Zn同屬於鐵氧體軟磁.且均采用燒結成型.
主要成份為Fe₂O₃

例： Mn-Zn鐵氧體磁芯的基本鐵氧體:粉料配制(UF16 R6K)

Fe₂O₃ 70% CaCO₃ 0.10%

ZnO 10% Nb₂O₅ 0.05%

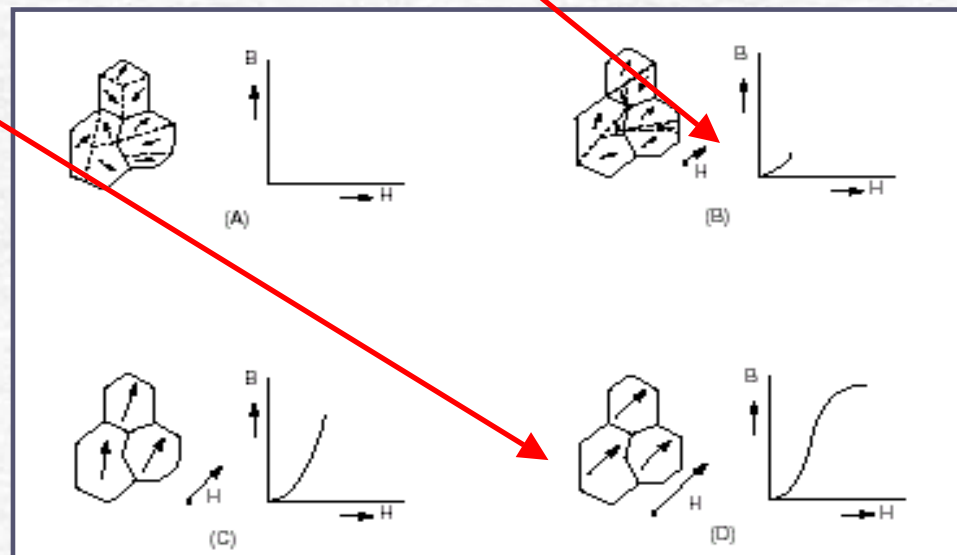
Mn₃O₄ 20%

7. 铁氧体軟磁特性分析

設計好的磁性元件，首先必須了解磁性材料的特性，尤為設計變壓器，通常使用於變壓器的材料多為軟磁，而軟磁基本上有幾項特性會影響到設計參數的設定。

- A. 初導磁率(μ_i)
- B. 損失系數(Loss factor)
- C. 飽和磁束密度(B_s)
- D. 保磁力(H_c)
- E. 殘留磁束密度(B_r)
- F. 導磁率(μ)
- G. 鐵損(Iron Loss)
- H. 居禮溫度(T_c)
- I. 溫度系數(U-T)
- J. 頻率特性(U-f)

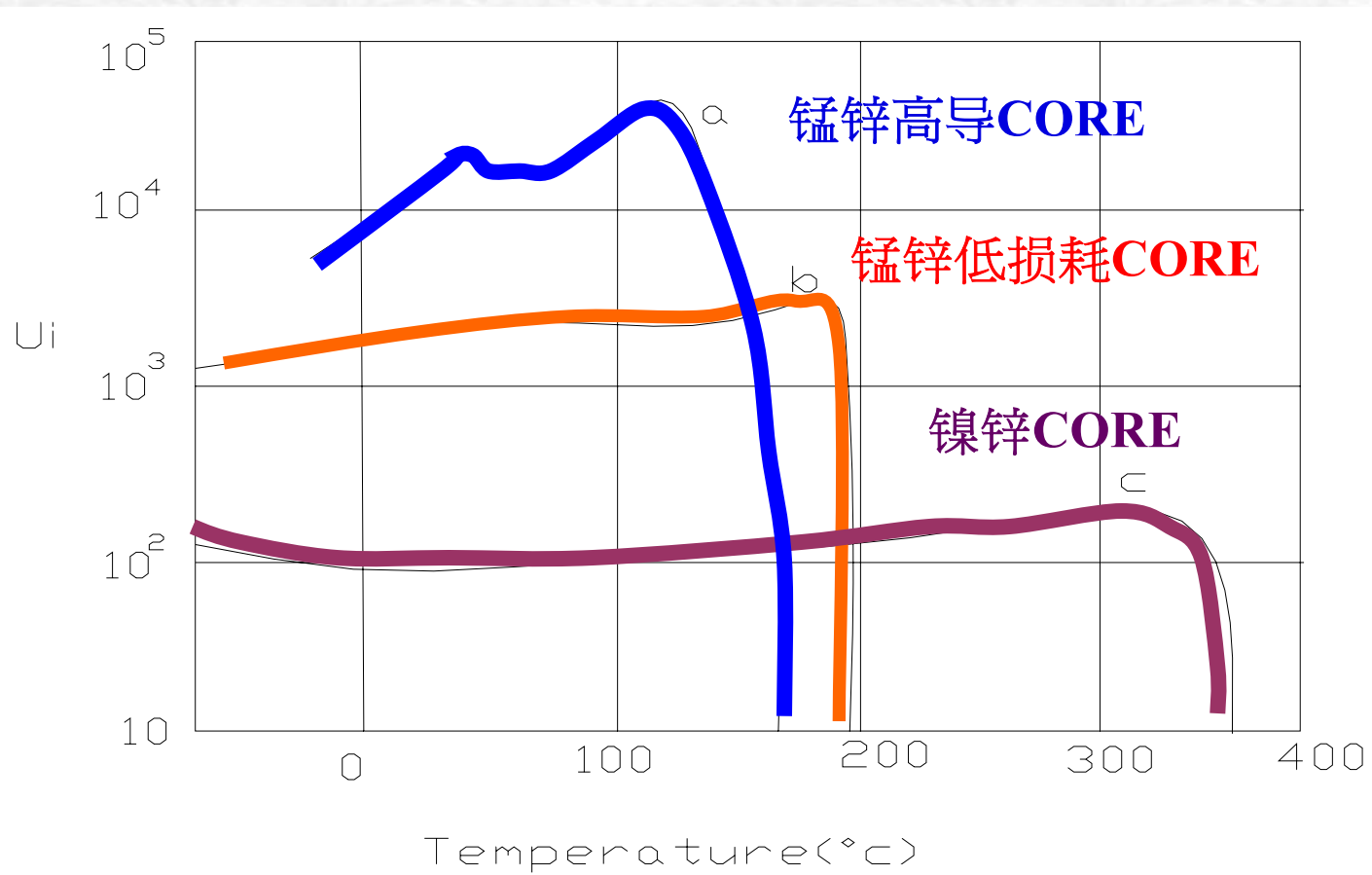
$\Delta B/\mu_0 \Delta H (\Delta H \rightarrow 0) = \mu_i$ μ_i 是初磁導率



***磁疇变化开始叫初磁導率，磁疇变化结束叫飽和磁通

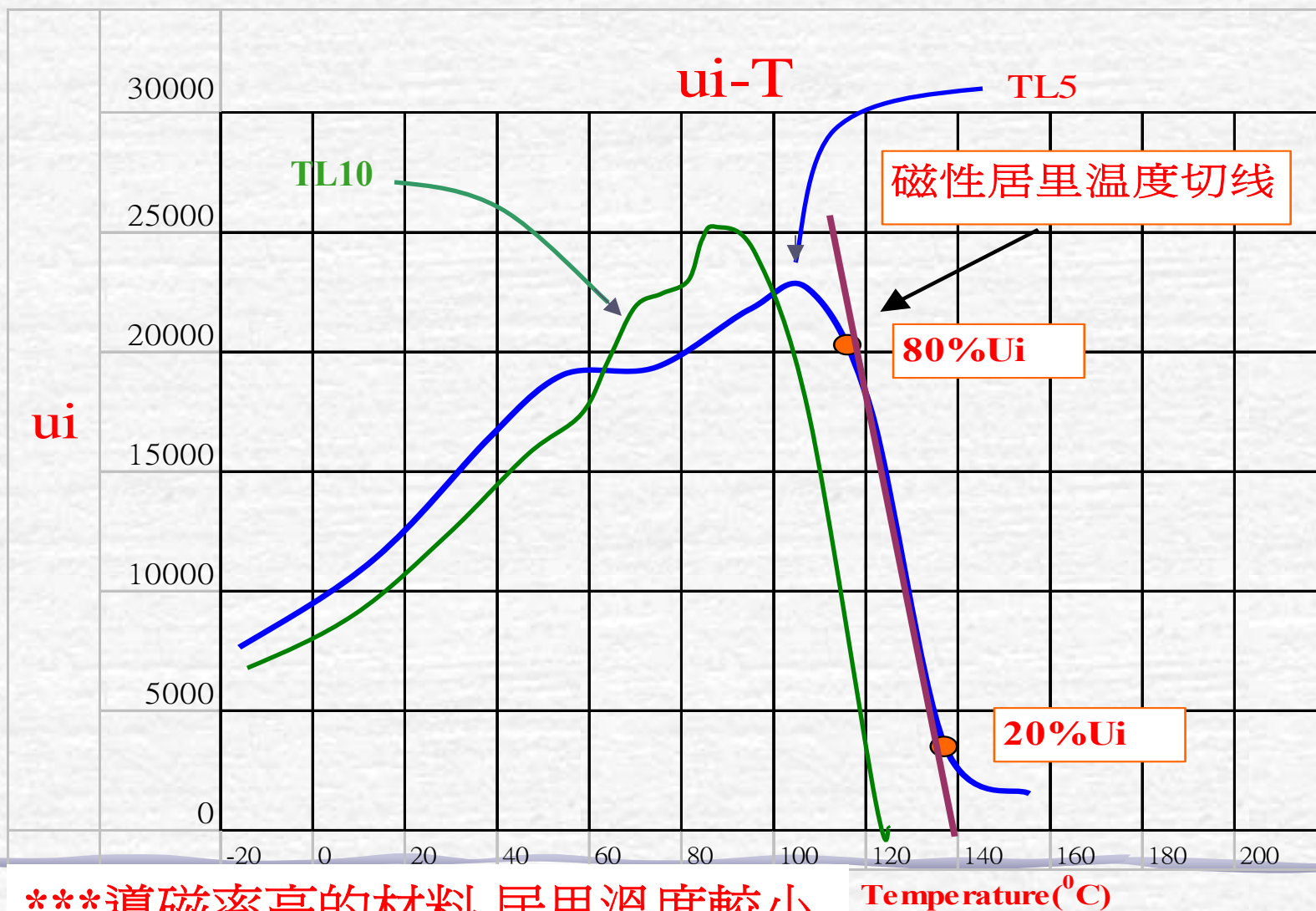
***反映在磁性元件上,在磁性上增加匝數,電感不在增加.

8. 铁氧体温度特性



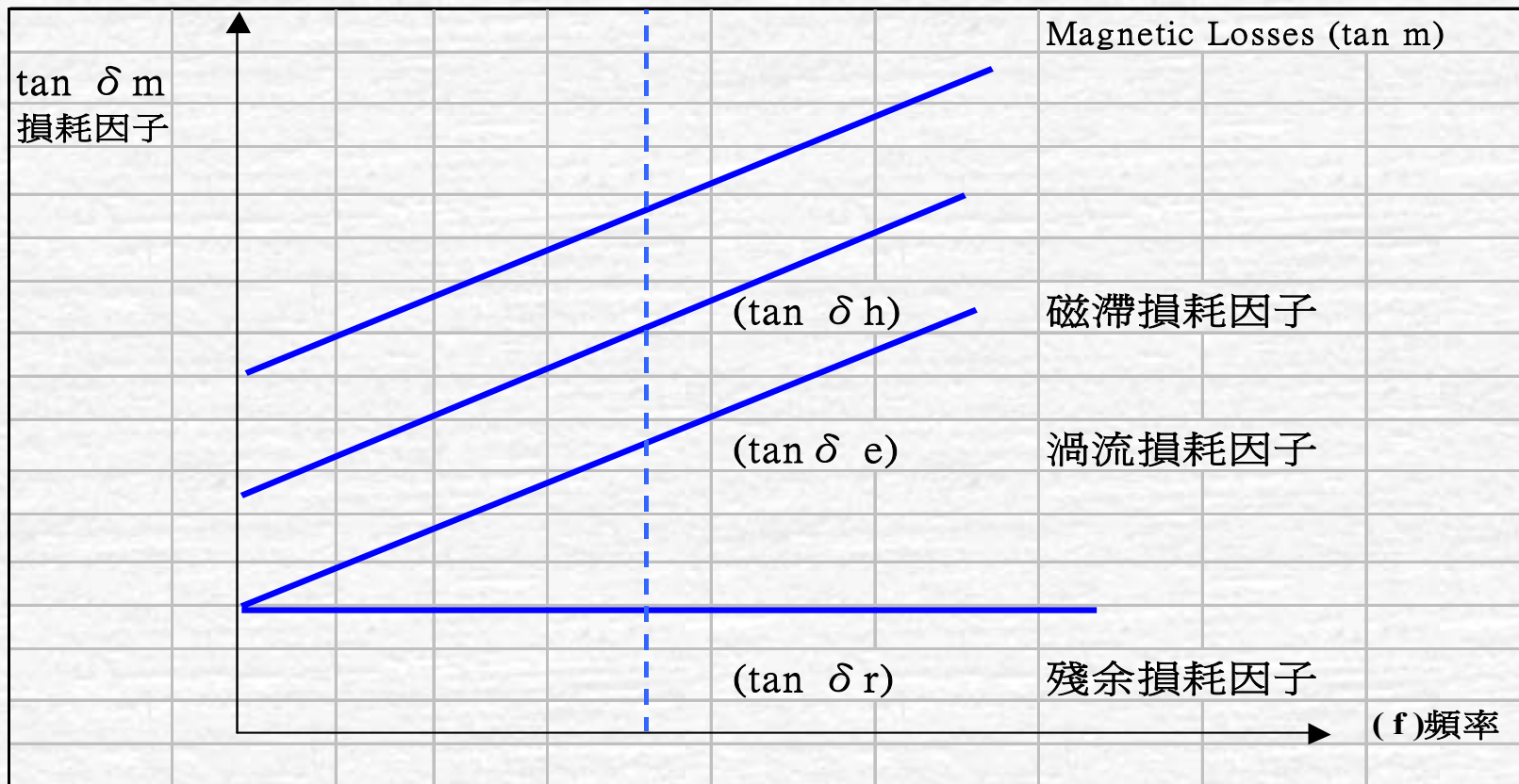
***導磁率高的材料,溫度特性較差.

9. 磁性材料的居里溫度



***導磁率高的材料,居里溫度較小.

10. 磁性材料的頻率特性

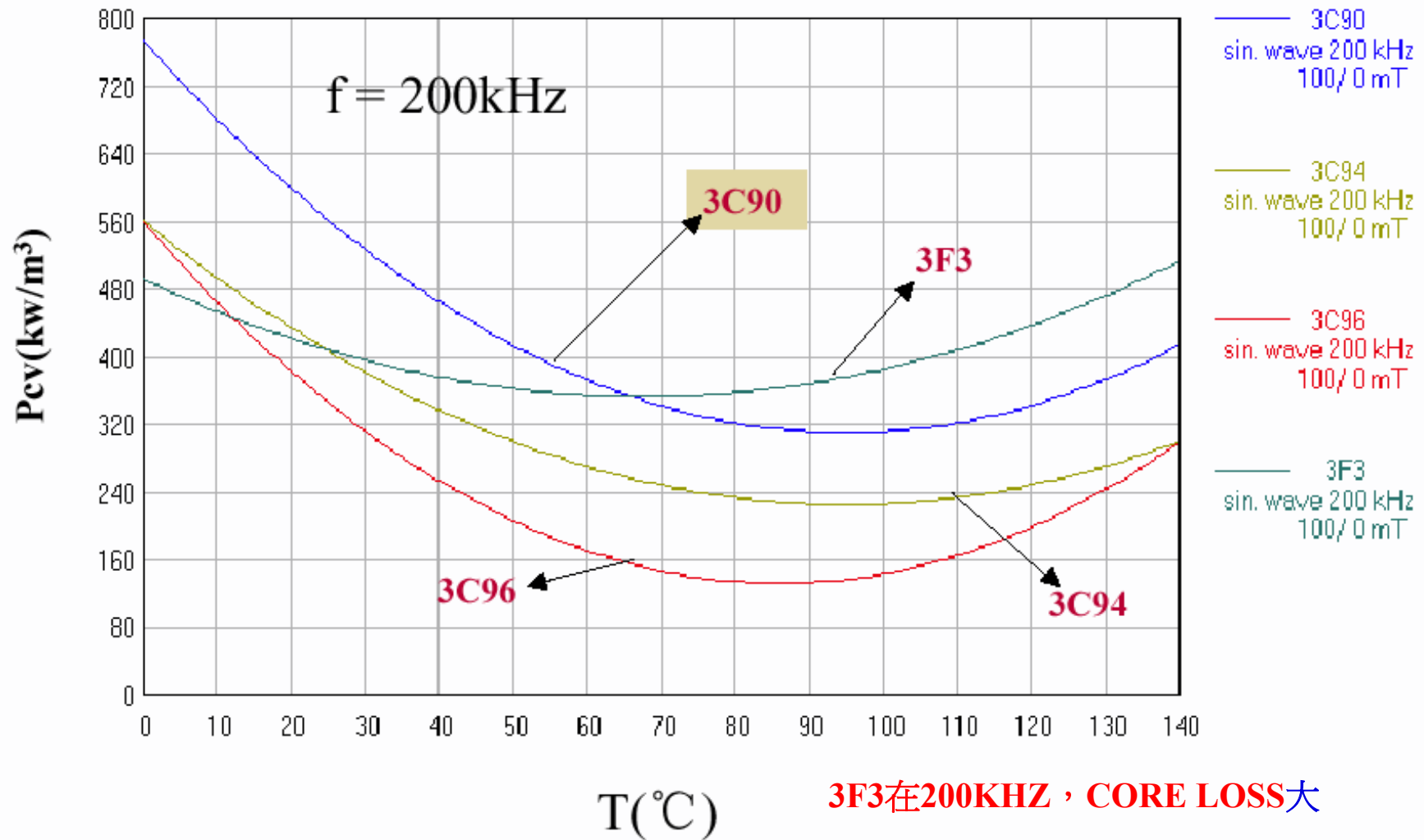


損耗因子:表示小信號下的損耗特性. $(\tan \delta m) = (\tan \delta h) + (\tan \delta e) + (\tan \delta r)$
 比損耗因子: $\tan \delta m / \omega i$

功率損耗: $P_{max} = P_c + P_m$ 磁芯損耗 $P_c = P_h + P_e + P_r$ 銅線損耗 $P_m = P_j + P_L$

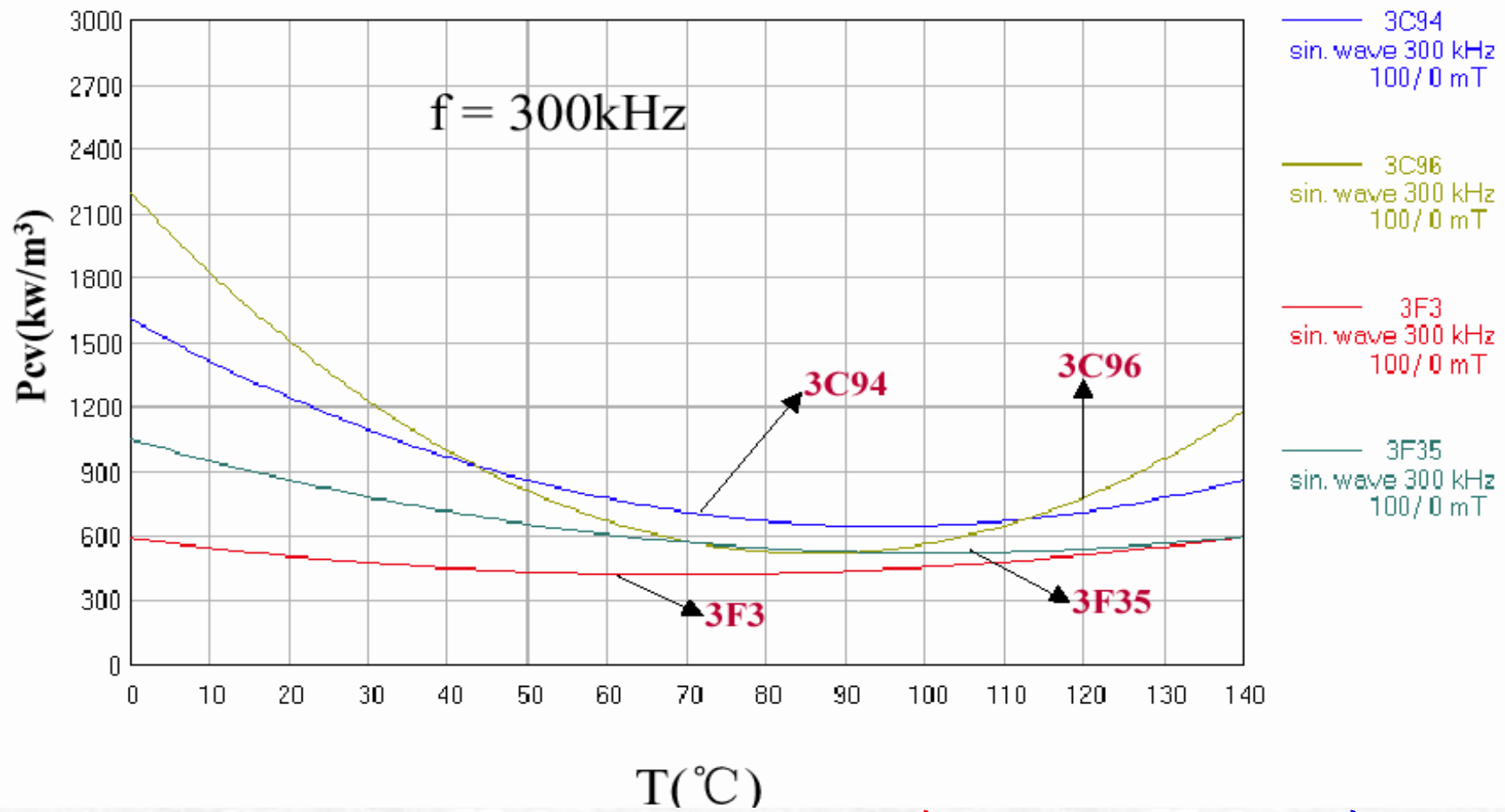
11. 鐵損比較 Core Loss (200KHZ)

Power loss density vs. temperature



Core Loss (300KHZ)

Power loss density vs.temperature



3F3在300KHZ，CORE LOSS小

鐵損： $P_c = \text{磁滯損耗 } P_h + \text{渦流損耗 } P_e + \text{殘留損失 } P_r$

❏ **1) 磁滯損耗 P_h :**

❏ 在交變場中存在不可逆磁化而形成磁滯回線所引起的被材料吸收掉的功率,是每次磁化所消耗的能量。

❏ **2) 渦流損耗 P_e :**

❏ 是由交變磁場的電磁感應引起的渦流是材料內部晶格交換產生的能量損耗,故而只能被材料吸收而發熱,使得總的磁導率變小。

❏ **3) 殘留損失 P_r :**

❏ 是指在除磁滯損耗,渦流損耗以外的一切損失。是由磁化延遲及磁矩共振等造成。

銅損： $P_m = P_j$ 集膚效應 + P_L 領近效應 + P_Q 切割效應

內阻r: 電流經過線圈內阻所產生之能量損失 ($I^2 r$), 在此轉換成熱能

☞ **1) 集膚效應 P_j :**

☞ 線圈中流過高頻電流時在開關頻率較高，電流只在導線的表皮流過，稱為集膚效應，(高速開關下磁力線引起渦流，抵消中心電流，導線形成空心導體)。

☞ **2) 領近效應 P_L :**

☞ **PRI&SEC, SEC&SEC** 線圈中流過高頻電流感生磁場相互影響，
☞ 稱為領近效應。

☞ **3) 切割效應 P_Q :**

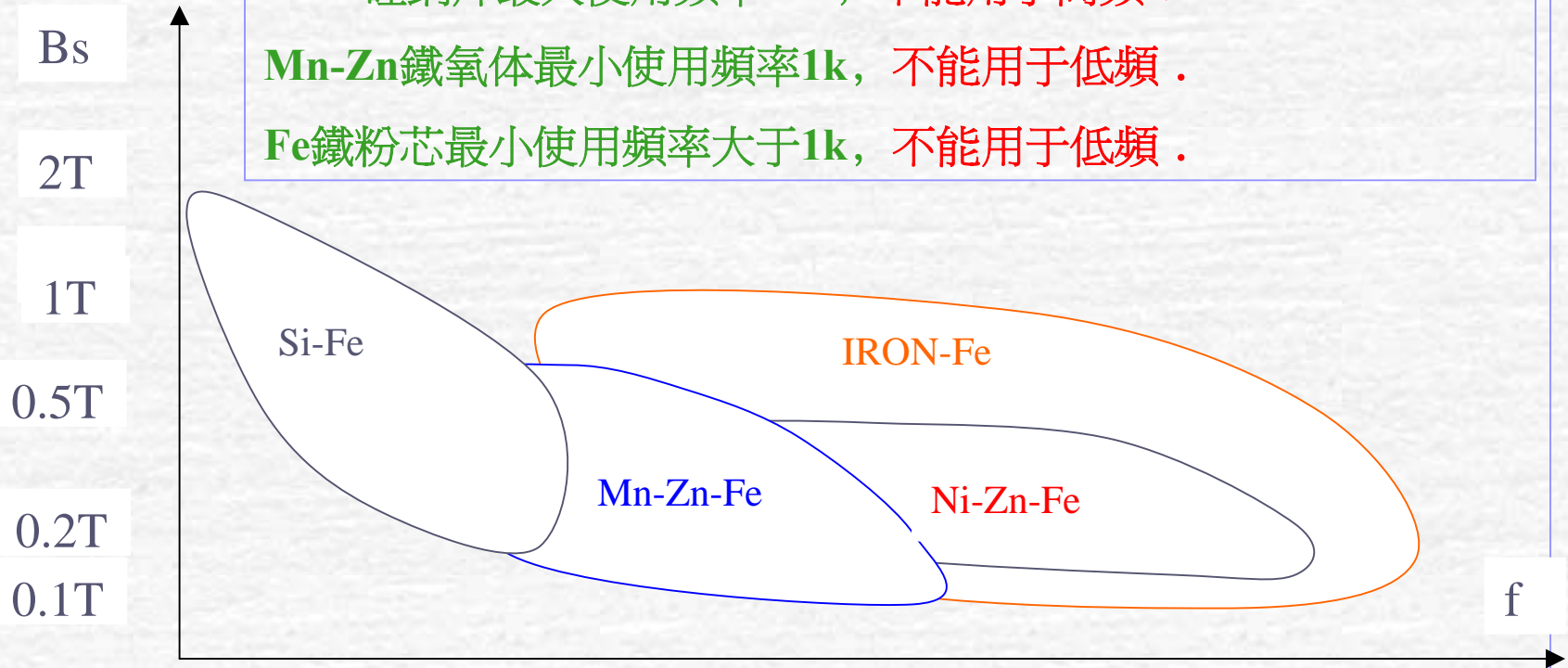
☞ **CORE GAP** 產生散布磁場對領近線包產生切割影響, 使導線不能達到實際發揮能力。

12. 常用CORE材料与特性

名稱	材料	導磁率 ue	磁感应 強度 (T)	最高使用 頻率 (KHz)	常用材料
Si 硅鋼片	Si-Fe	~1800	2.00	10	H18.H23.H50.Z11.Z10
Ni 鎳鋼片	Ni-Fe	~20000	0.75	30	
IRON Fe 鐵粉芯	Fe	3~120	0.90	300000	
Mn-Zn 鐵氧体	Mn-Zn-Fe	1000~ 18000	0.50	1000	TP3.TP4.TP5.TL5.TL7.T L10 Pc30.pc40.pc44.pc50
Ni-Zn 鐵氧体	Ni-Zn-Fe	15~500	0.30	100000	

13.鐵芯的磁感Bs和頻率範圍f

Si-Fe 矽鋼片最大使用頻率10k，不能用于高頻。
Mn-Zn 鐵氧體最小使用頻率1k，不能用于低頻。
Fe 鐵粉芯最小使用頻率大于1k，不能用于低頻。

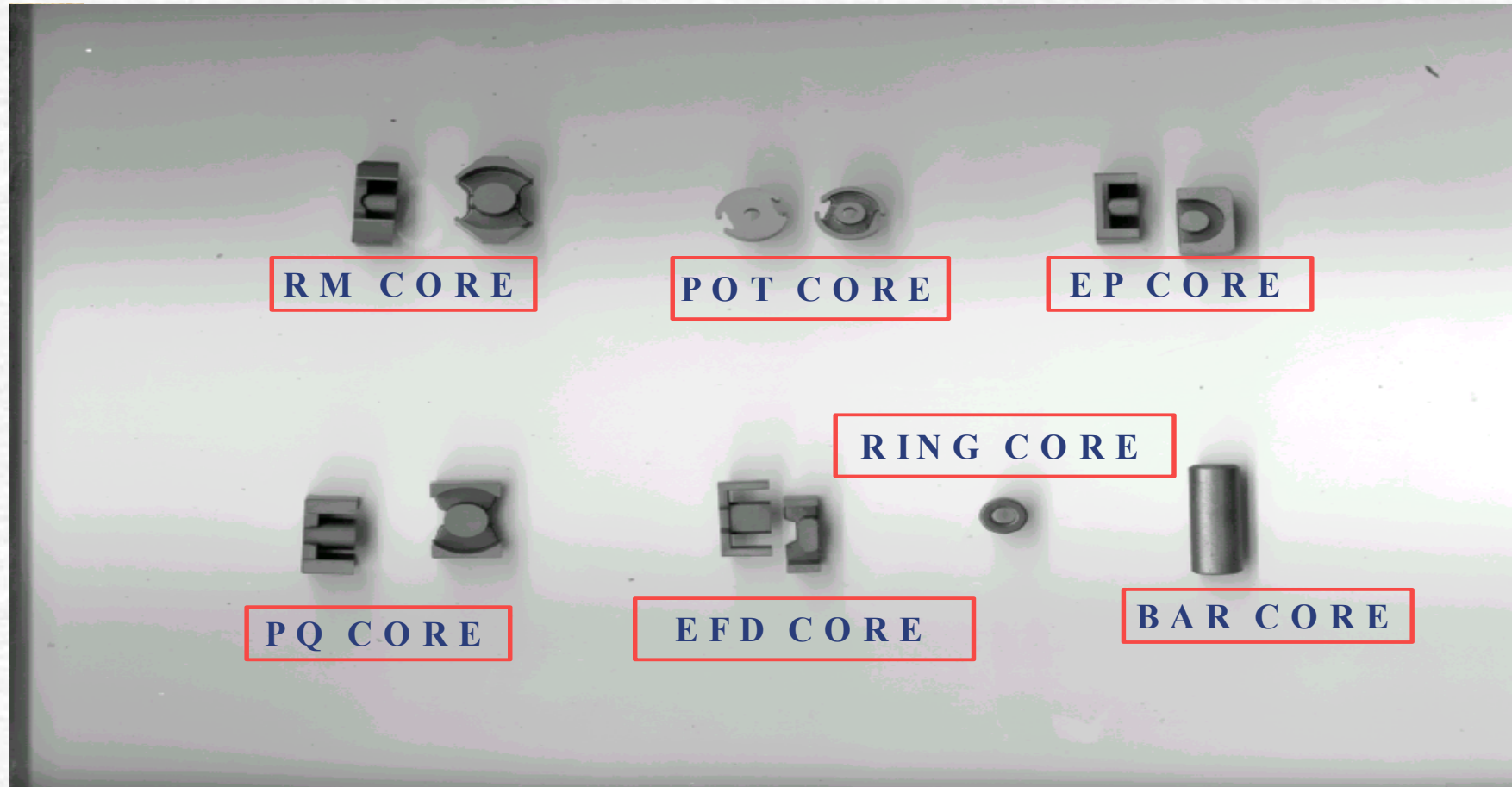


50 Hz 100Hz 400 Hz 1KHz 40KHz 100KHz 400KHz 1MHz 4MHz 10MHz 40MHz 100 MHz 400MHz

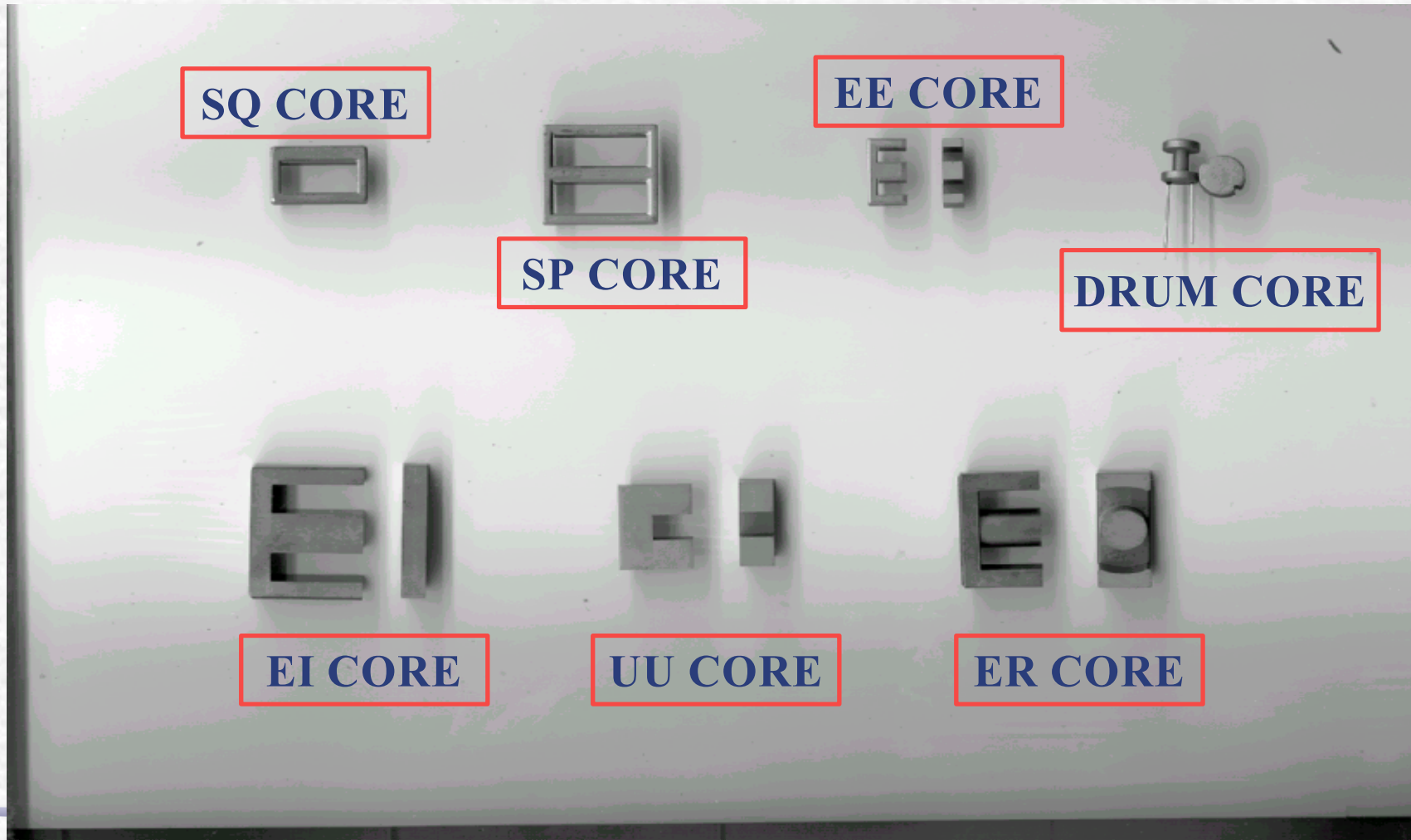
1T =1000m T =10000Gs
1m T =10Gs

1MHz =1000KHz =1000000Hz
1KHz =1000Hz

磁性元件用各种磁性 (1)



磁性元件用各种磁性（2）



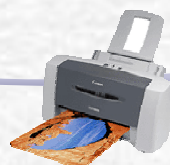


二.磁性材料的應用

磁性材料在電子產品上的應用非常廣泛,磁芯主要應用於:抗電磁干擾(EMI)計算機系統、通信系統、多媒體系統、汽車系統、照明系統、辦公自動化系統、自動控制系統、家電系統及其它開關電源等。

軟磁元件如電感和變壓器,以目前半導體技術的發展,在許多方面仍然少不了這類的磁性元件,電感和變壓器很難以用其他元件或半導體加以取代。

近年來電訊市場成長迅速,因此對軟磁元件的需求也隨之提高,不論是生產或應用,確實了解材料和元件特性及其使用上的重點,才能將其功效發揮到極至,從而提高產品的等級,增加在市場上的競爭能力。



軟磁磁芯的特性要求及其效益

特性	要求	效益
導磁率(μ_i)	高	可減少繞線圈數,故可降低繞線電阻及雜散電容,以小體積可得到高電感量
飽和磁束密度(B_s)	高	可容許大磁場也就是大電流的存在,小體積大功率
保磁力(H_c)	低	降低磁滯損提高效率
殘留磁束密度 (B_r)	低	提高動作範圍,減少損失,提高角形比,以得到良好控制(磁器放大器方式)
Q		視用途而要求高或低
居禮溫度	高	高於最高動作溫度即可
電阻係數	高	降低渦流損,避免造成圈絕緣之困擾
溫度特性 磁場特性 頻率特性 時間特性 機械特性		越穩定越好
其他		繞線,接腳,散熱,磁漏

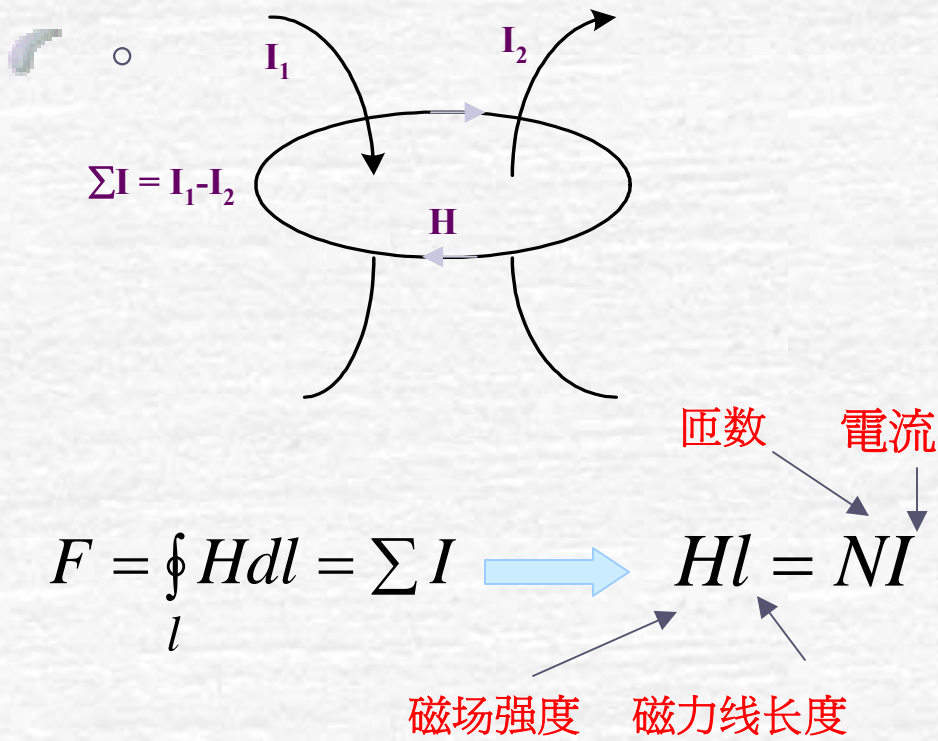
金屬磁芯應用比較

應用	特性要求	材質	特點
大功率 低中頻 變壓器	高Bs	矽鋼片	可有方向性
	高Tc		低成本
	高熱傳導係數	鈷鐵合金	高價位
	低損失	鎳鐵合金薄帶	可有方向性
		非晶質合金薄帶	高電阻係數
中功率 中至高頻 變壓器	中至高Bs	鎳鐵合金薄帶	可作不同形狀捲繞
	高Um		可成爲極薄之薄帶
	高角形性		
	低損失	非晶質合金薄帶	高角形性
	高穩定性		低磁伸縮
低功率 中高頻 電感或濾波器	低Um	鎳鐵粉(80%Ni)	低損失,穩定
	中至低損失	鎳鐵粉(50%Ni)	高Bs
	直流重疊性佳		成本低
	溫度及時間穩定性佳	鐵粉芯	高Bs

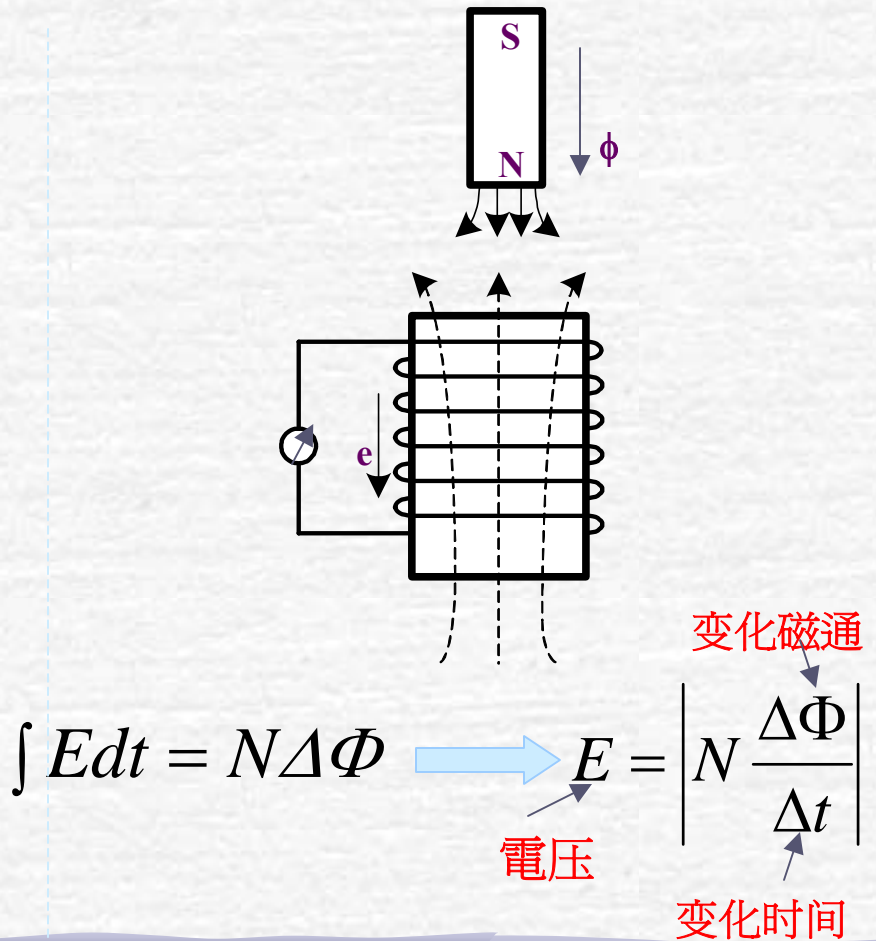
安培定律（法）：電生磁

法拉第定律（英）：磁生電

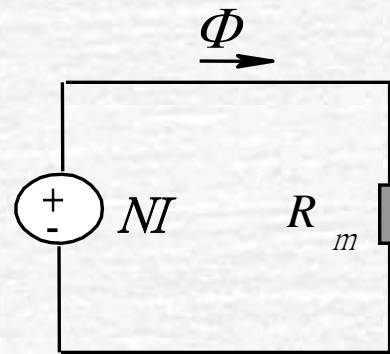
Ampere's Law



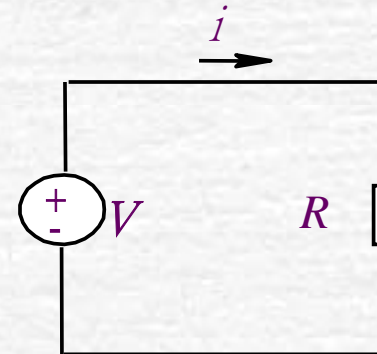
Faraday's Law



電&磁 关系的比较



Magnetic circuit



Electric circuit

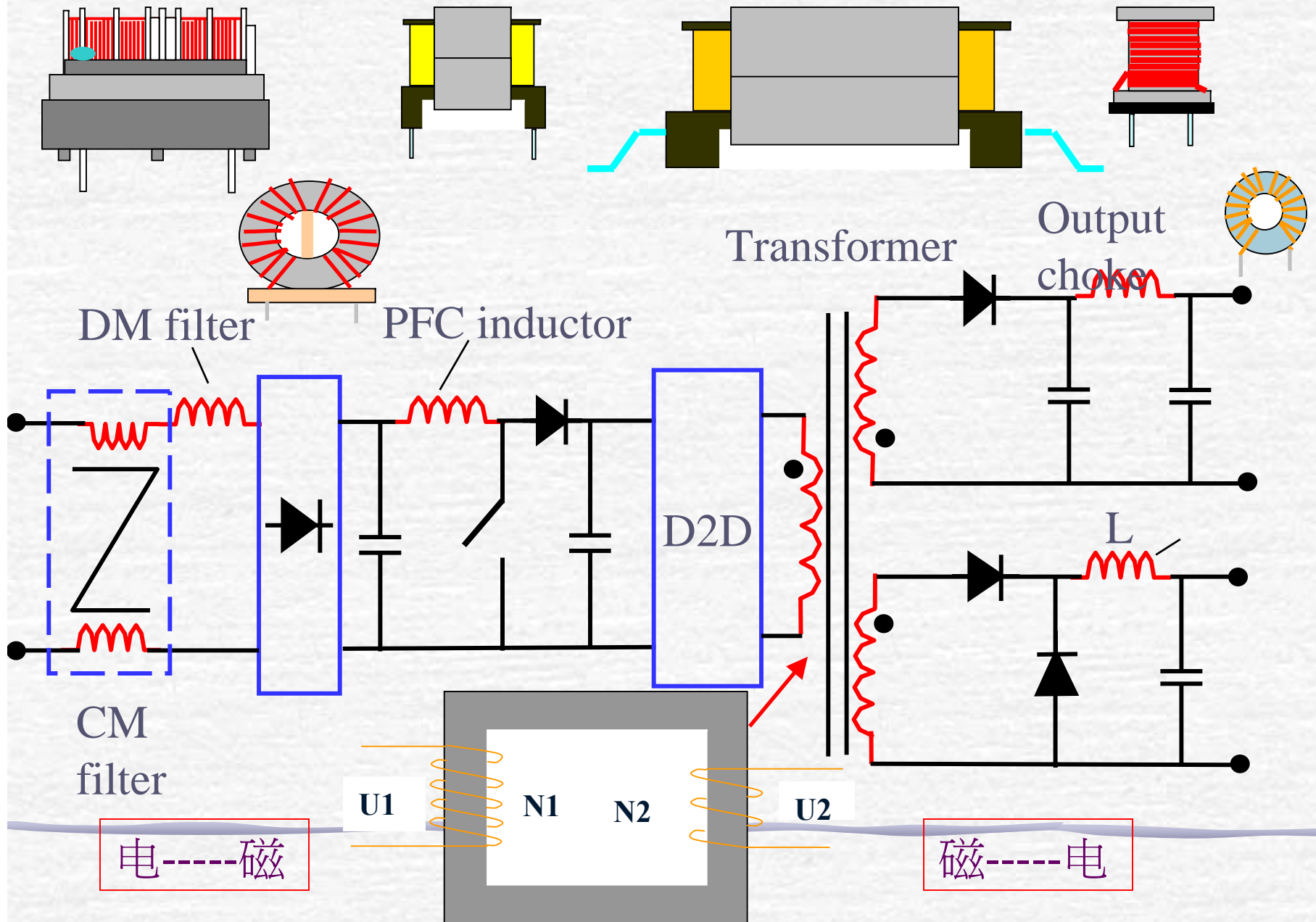
Magnetic circuit	Electric circuit
磁动势 F	电动势 E
磁通量 ϕ	电流 I
磁通密度 B	电流密度 J
磁阻 Rm	电阻 R

***凡有電之處,則必有磁性存在.凡有磁性之處,均可稱之為磁場

铁氧体Ferrite材質的應用要求

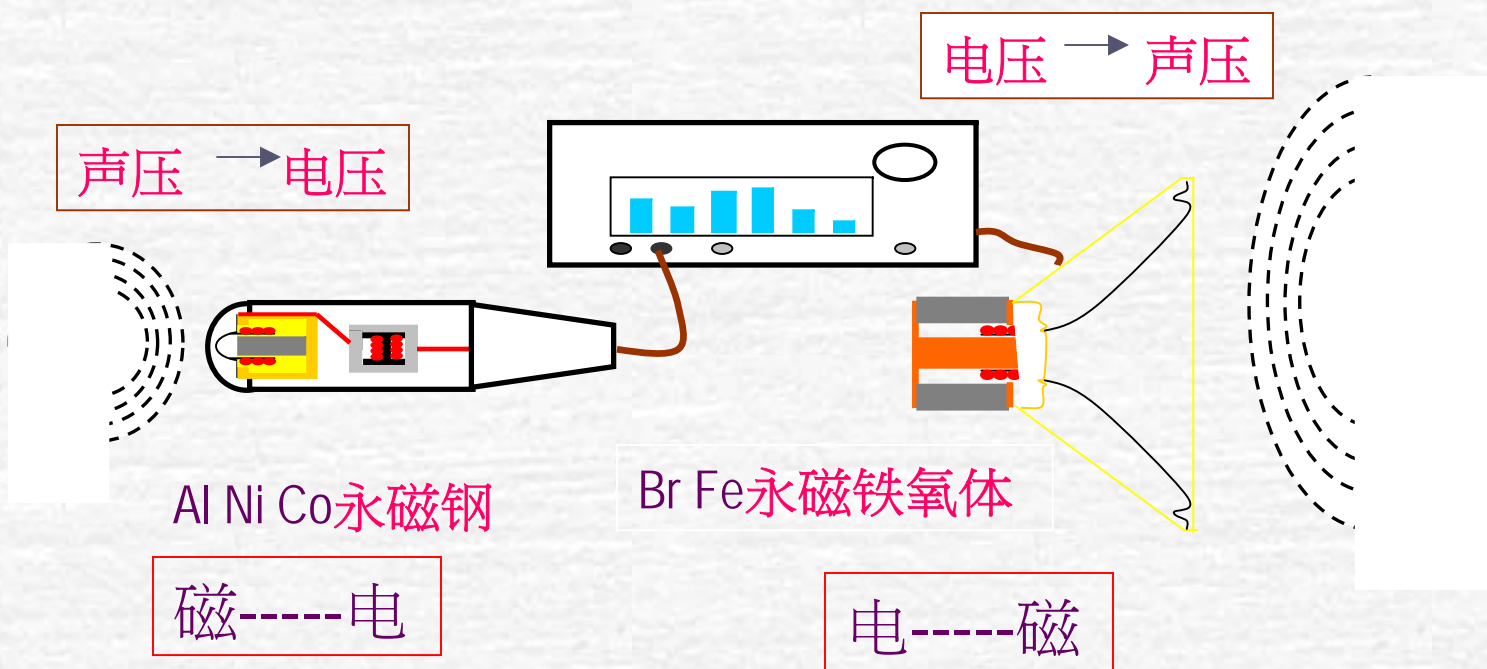
應用範圍	種類	特性要求	應用頻率
濾波電感	MnZn, NiZn	高u, 高Q, 高穩定性	1MHz(MnZn)
			1~100MHz(NiZn)
功率變壓器	MnZn	高Bs, 低損失, 高u, 居里溫度高	1MHz
脈動變壓器	MnZn, NiZn	高u, 低損失	1MHz(MnZn)
			1~50MHz(NiZn)
轉換器	MnZn	低損失, 高Bs	1MHz
雜訊濾波器	MnZn, NiZn	超高u, 高Bs	~250MHz
電流變壓器	MnZn	高u, 高Bs	1MHz
寬頻變壓器	MnZn, NiZn	高u, 低損失	1MHz(MnZn)
			1~500MHz(NiZn)
返馳變壓器	MnZn, NiZn	高u, 高Bs, 低損失	100KHz

常见软磁应用



常见硬磁应用

话筒的音膜受到声压推动，切割磁力线产生电压经过放大器，放大电压到达扬声器切割磁力线推动扬声器纸盆发出声压。



常用磁性材料

1) **鐵氧體鐵芯**(Ferrite)最常用的材料。

鐵氧體鐵芯又分為：

1. **Mn-Zn**的使用頻率較低，大約為幾千赫(KHz)。

2. **Ni-Zn**使用頻率可達數十兆赫(MHz)。

鐵氧體鐵芯廣泛用于各類高頻變壓器，開關電源，轉換器變壓器以及高頻扼流圈，EMI濾波器，電感。

2) **非結晶態合金**是軟磁合金材料，具有優良的電磁性能，耐電流性能，在中，高電子設備中廣泛應用。(主要在製造中採用百萬°C之一秒速度，急速冷卻，使材料分子未能結晶)

主要用來做高頻電感，開關電源變壓器和脈沖變壓器等高頻電磁元件。

3) **鐵粉芯**是用Ni, Mo軟磁粉末壓制的環形鐵芯它的穩定性好，且具有使用頻率範圍較寬的特點，(主要在製造工藝中採用天然的氣隙分布)

主要應用於濾波及諧振電路中，制作高頻電感的鐵芯。

(一) EMI Filter(濾波器)

EMI (電磁干擾) :

- 1) 按照干擾頻率分為 : (傳導干擾噪聲) $< 30\text{MHz}$,
(輻射干擾噪聲) $> 30\text{MHz}$.
- 2) 按照干擾模式分為 : 差模DM干擾噪聲,
共模CM干擾噪聲.

EMC (電磁兼容) : 是各種電器與設備系統在同一電磁環境中可以相互兼容, 而且不導致其性能下降.

防止電磁干擾 相關技術: 1, 濾波技術. 2, 線路設計.
3, 屏蔽技術. 4, 接地設置.

EMI濾波器是集成差模和共模濾波電感器,

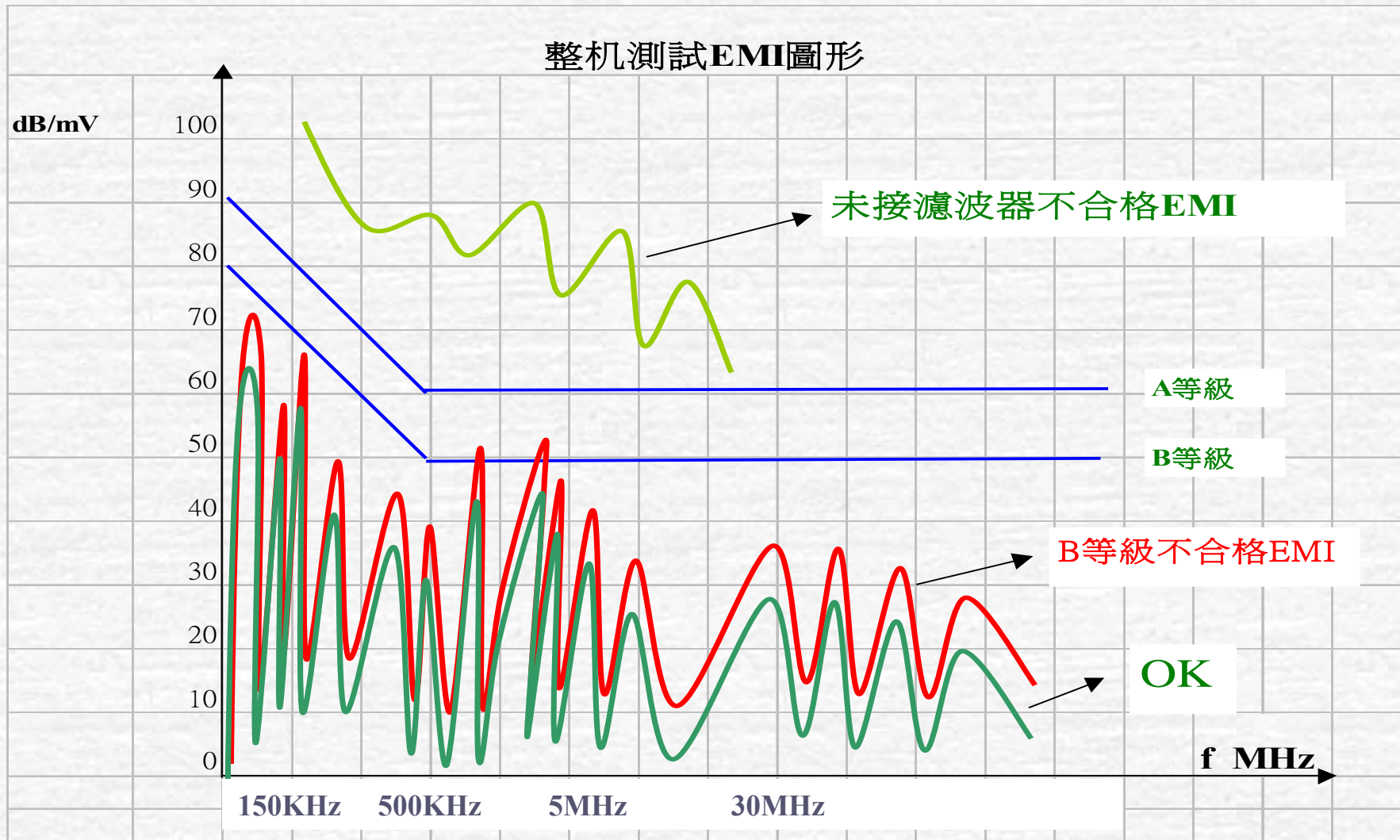
對於外部傳導EMI干擾噪聲信號具有較好抑制. 同時防止內部干擾噪聲, 內部干擾主要來源於電子線路整流後的波形畸變產生的噪聲和開關電源的波形突變產生的噪聲.

***防止電磁干擾 相關技術主要採用濾波器

Filter(濾波器)图形



濾波器在电路作用



濾波器的作用

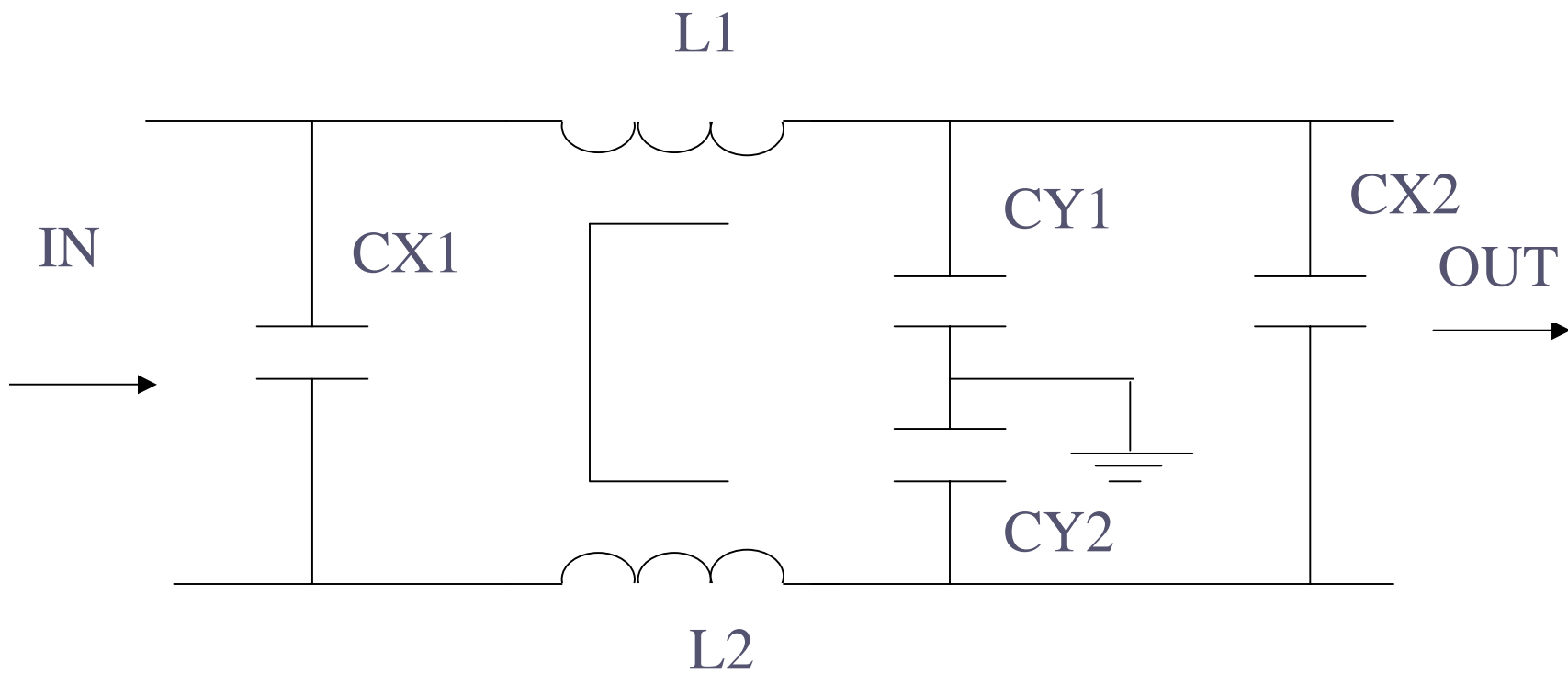
利用不同頻率的訊號,使電感&電容元件,產生不同阻抗(即較高頻率的訊號,其感抗較大而容抗較小,而較低頻率的訊號,其感抗較小,容抗較大)造成不同頻率訊號,對於電容或電感之衰減量不同,故使所需訊號與雜訊之S/N比值提高,而達到雜訊干擾(噪音)抑制的作用。

濾波器採用CORE：SQ，SP，UU，T，EE。。。

濾波器電感設計採用 $L=A_L*N^2$

共模&差模 濾波器電路

常見EMI FILTER電路



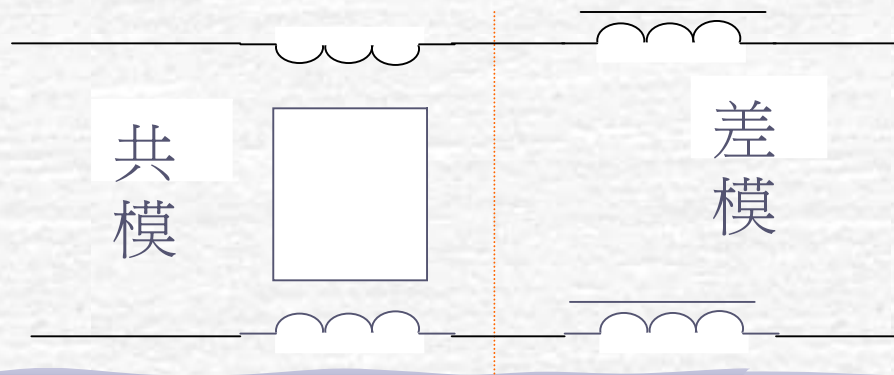
共模．差模等效電路

CM共模：

- (COMMON-MODE)兩個繞在同一磁環的線圈，匝數相等，繞向相反，使兩個線圈內通過的共模電流所產生的磁通在磁環內相互抵消，避免磁飽和狀態，保持電感穩定。

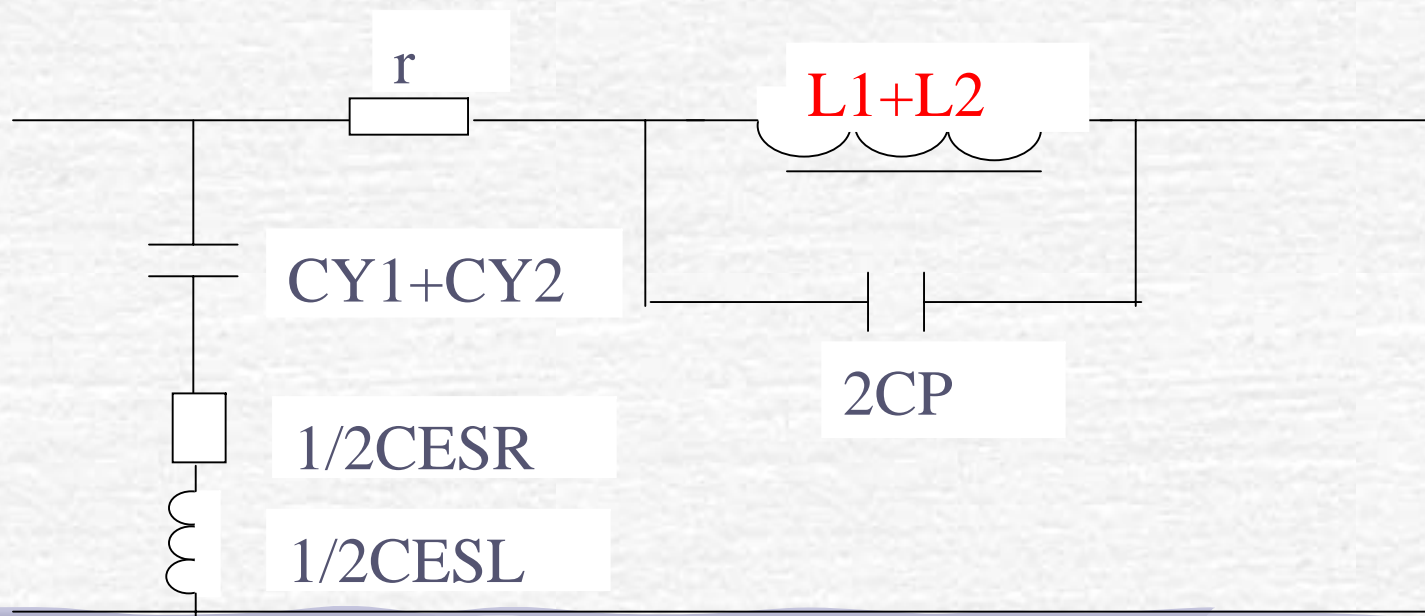
DM差模：

- (DIFFERENTIAL-MODE)兩個繞在同一磁環的線圈，在差模時形成兩個獨立電感線圈。(需要時也可以另加兩個獨立電感線圈)



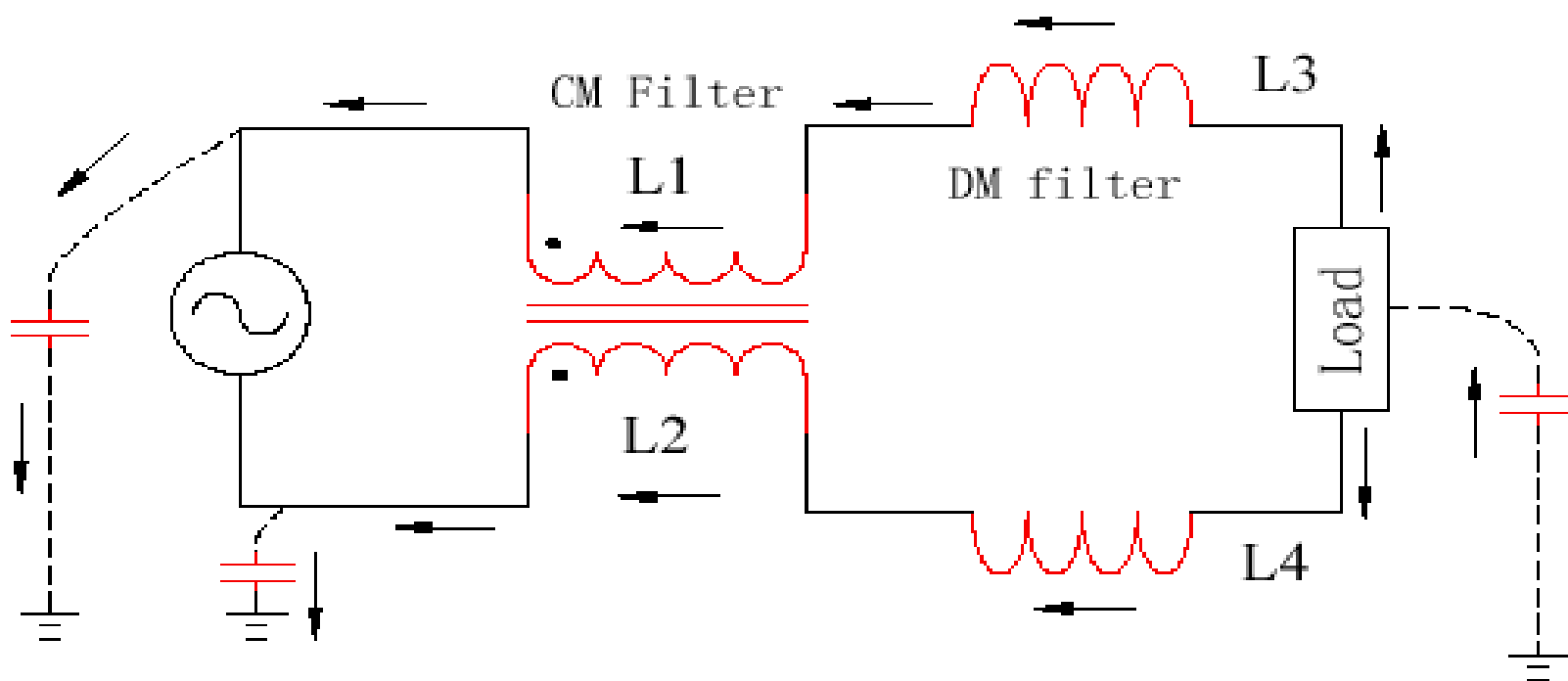
共模等效電路

- 共模時 $L1$ ， $L2$ 產生的磁通串連，磁通相加，
- 電感趨向高的阻抗。



共模噪音:

- 共模噪音:是訊號或其回路與大地間之雜訊(在于接地相關之電路上發生的雜訊或電氣干擾),其傳導方式如圖

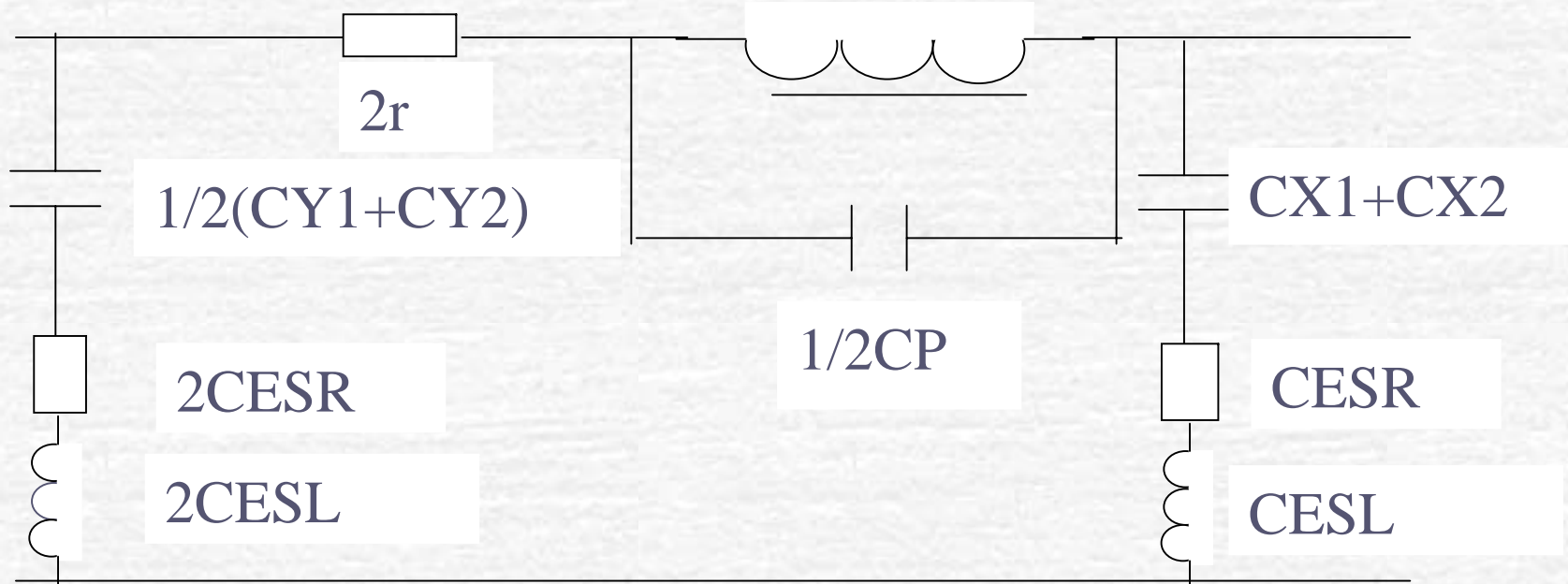


(a)

差模等效電路

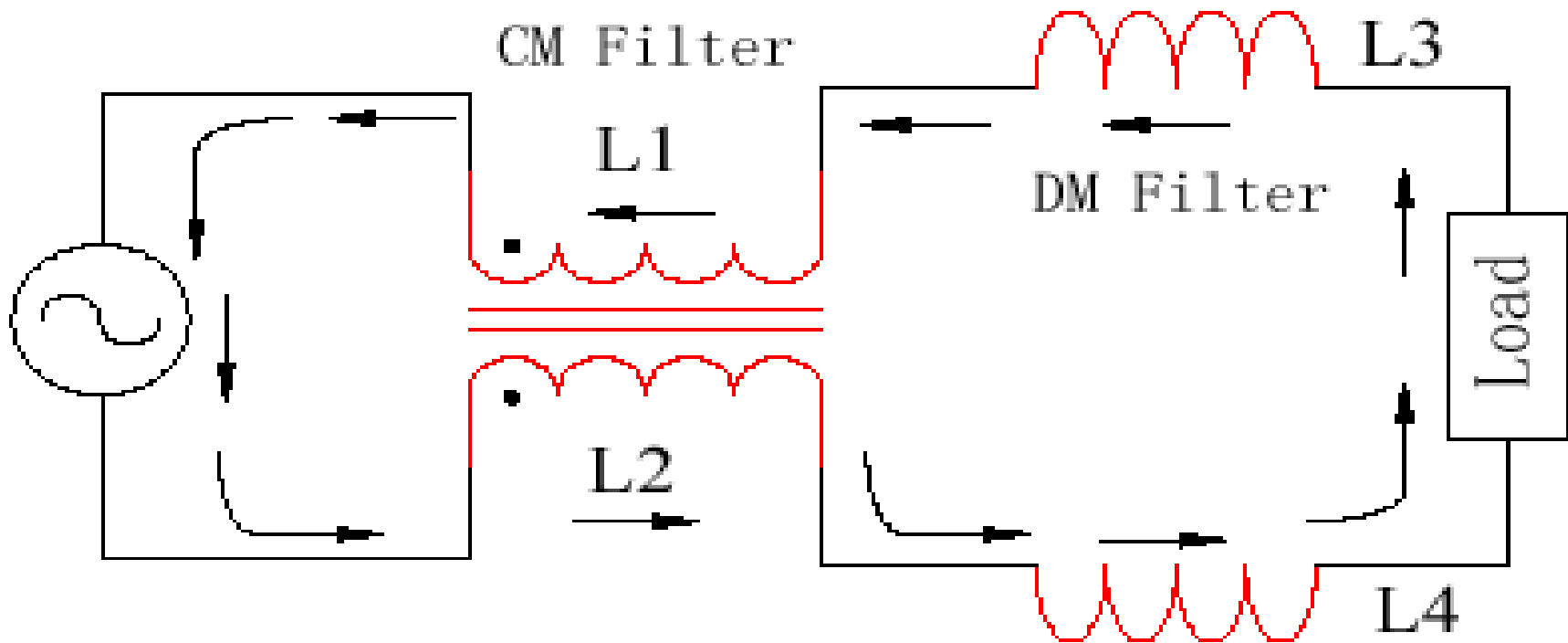
- 差模時L1, L2產生的磁通反相串連, 磁通相減,
- 電感較小.

L1-L2 (漏感)



差模噪音:

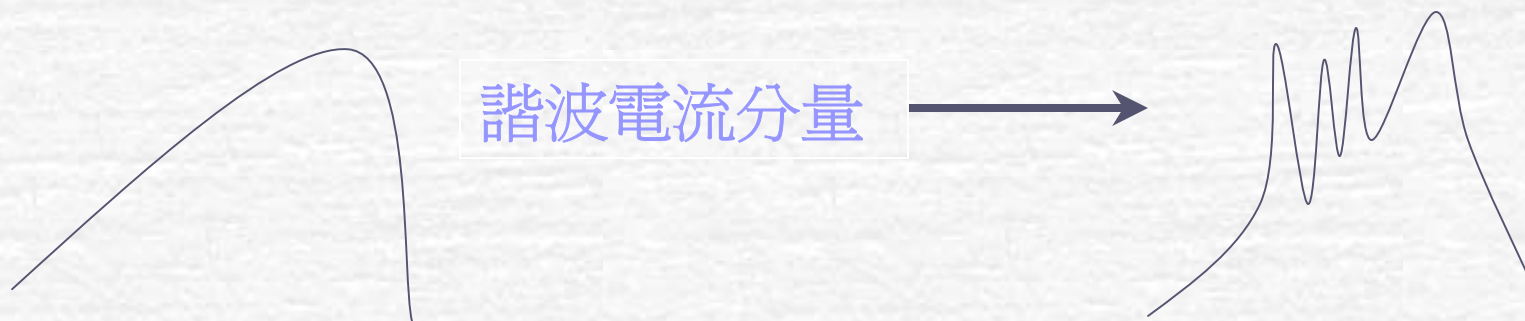
- 差模噪音:是訊號線與其回路之間的雜訊, (發生在電路中, 電路與電路之間)其傳導方式如圖:



(b)

(二) PFC功率因數修正choke

- 整流電路會給電網供給嚴重的非正弦電流. 脈沖狀的輸入電流. 含有大量諧波. 諧波電流對電網有危害的作用. 使得輸入功率因素下降. 諧波噪聲提高. 故而在輸入端增加濾波PFC改善功率因素.
- 一般輸入波形下諧波頻譜分析. 三次諧波分量77.5 %. 五次諧波分量50.3 %
- 總的諧波電流分量95.6 %
- 一般輸入功率因素只有0.683 (PF68.3 %)
- 大量諧波電流分量倒入電網. 使得負載上的實際功率減小. (電網伏安數大. 負載功率減小)



PFC功率因數定義

定義: **PF=有用功率/伏安=P/UI**

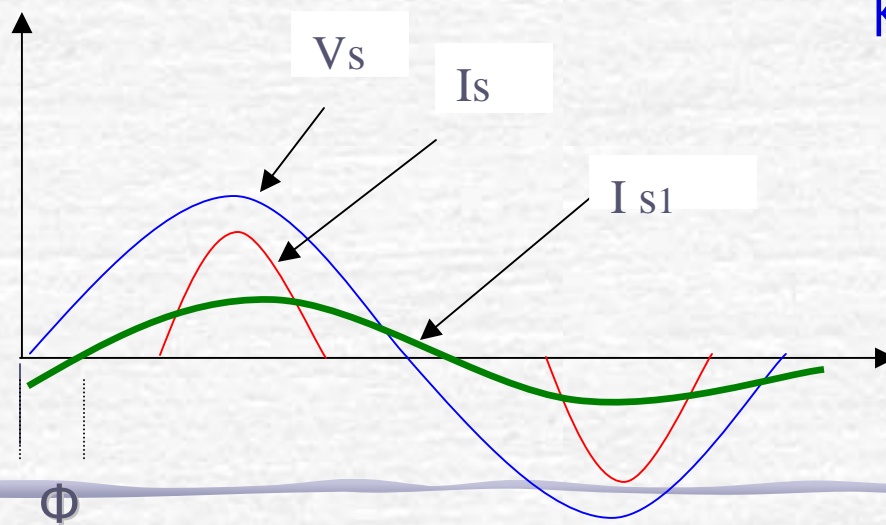
PF=P/S=V_s I_{s1} COSΦ/V_sI_s (P=V_sI_{s1} COSΦ S=V_sI_s)

PF功率因素=P實際功率 / S視在功率

I_{s1}/I_s為畸變因子即 **THD** 為(失真因素**Kd**);

COSΦ為(位移因素**Kθ**)

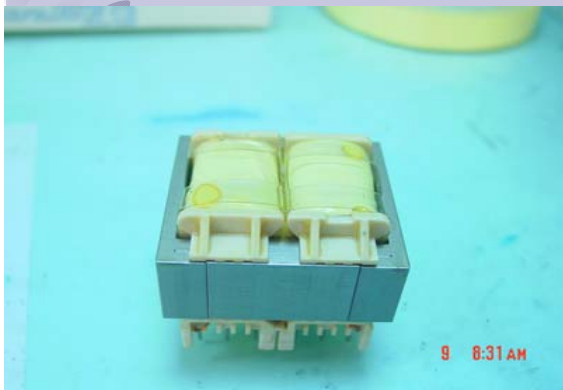
$$Kd = I_{s1}/I_s . K\theta = \text{COS}\Phi$$



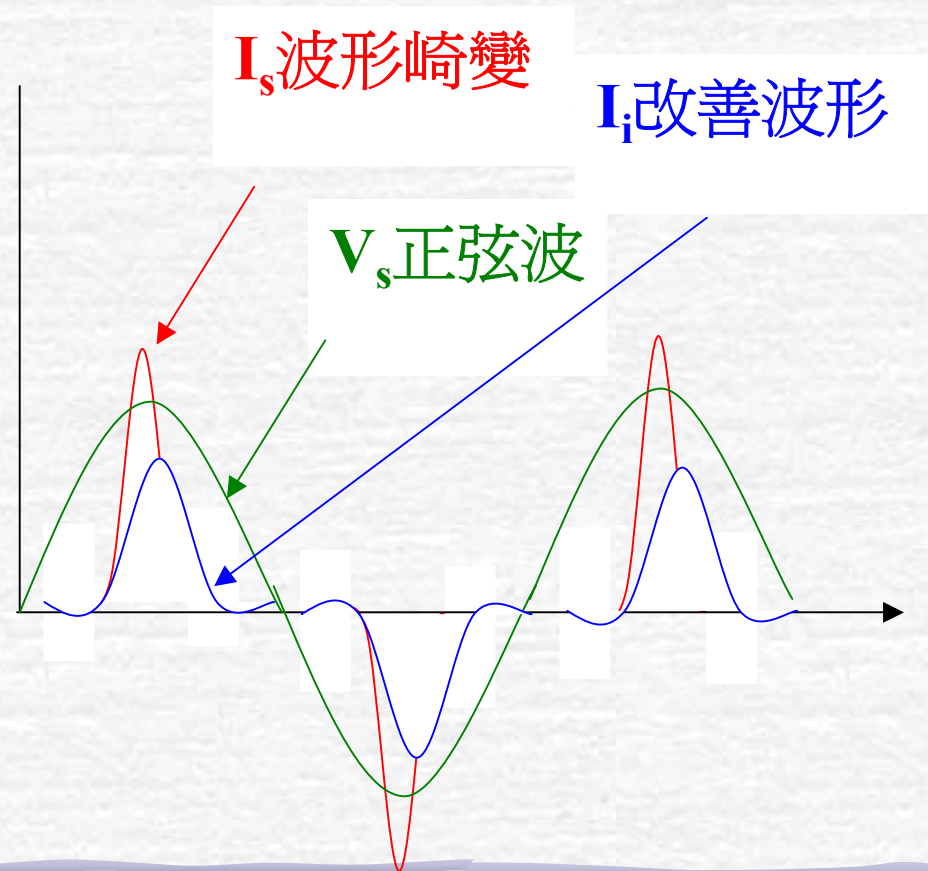
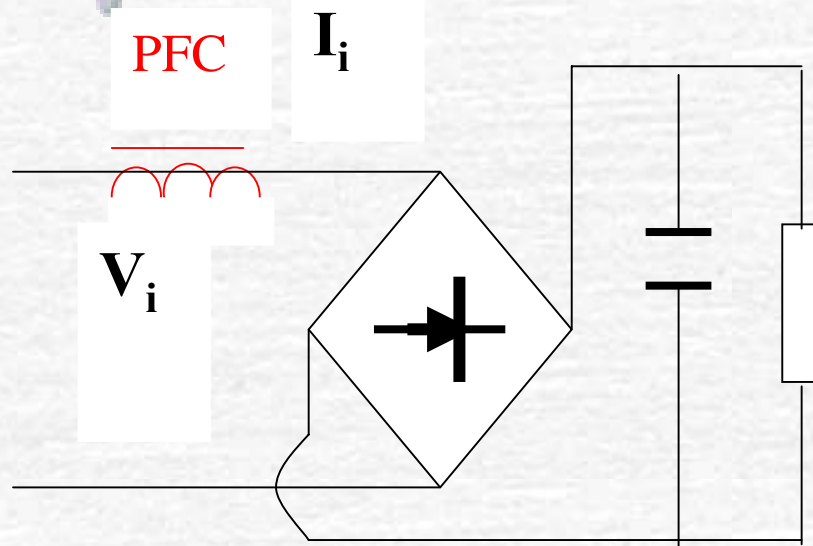
PFC(無源濾波器) & APFC(有源濾波器)

- PFC無源濾波器也稱被動式PFC主要是在整流前串一個濾波電感器來改變輸入電流的波形與相角，使其波形較為平滑(減小紋波)。
- 特點：簡單. 成本低. 可靠性高. 重量. 尺寸大. PF難以達到 > 85 %
- APFC有源濾波器也稱主動式APFC在整流與負載之間串一個DC-DC CONVERTER變流器，豈現主動開關的動作，將輸入電流的波形修正為近似正弦波的波形。
- 特點：電路復雜. 成本高. 效率會降低. 体积小。 PF達到 > 92 %
- 例：采用IC(BU3842)可以在較寬的輸入電壓（90V-264V）和寬頻帶下工作PF可達97 %--99 %

***APFC采用固定高頻諧振開關脈沖寬度調制升壓式變換電路,平均電流型控制方法.UC3854

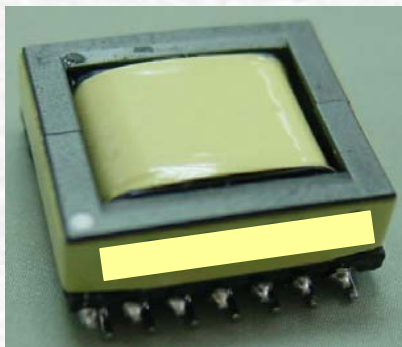


PFC無源濾波器波形



(Si-Fe 硅钢片 PFC)

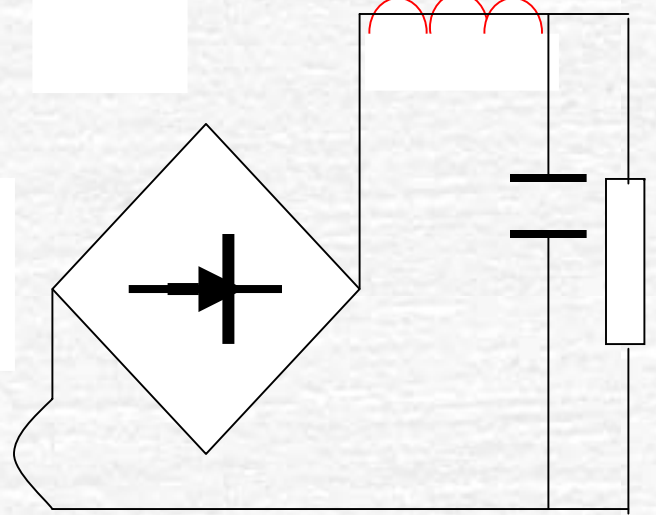
APFC有源滤波器波形



I_i

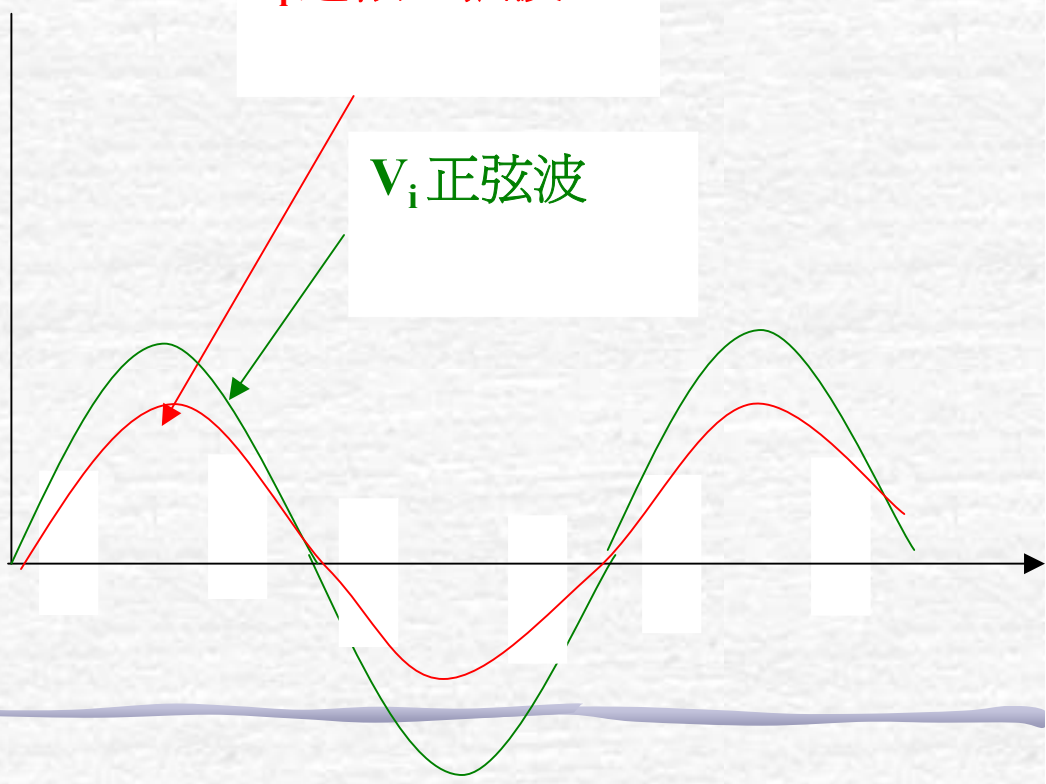
PFC

V_i



I_i 近似正弦波

V_i 正弦波



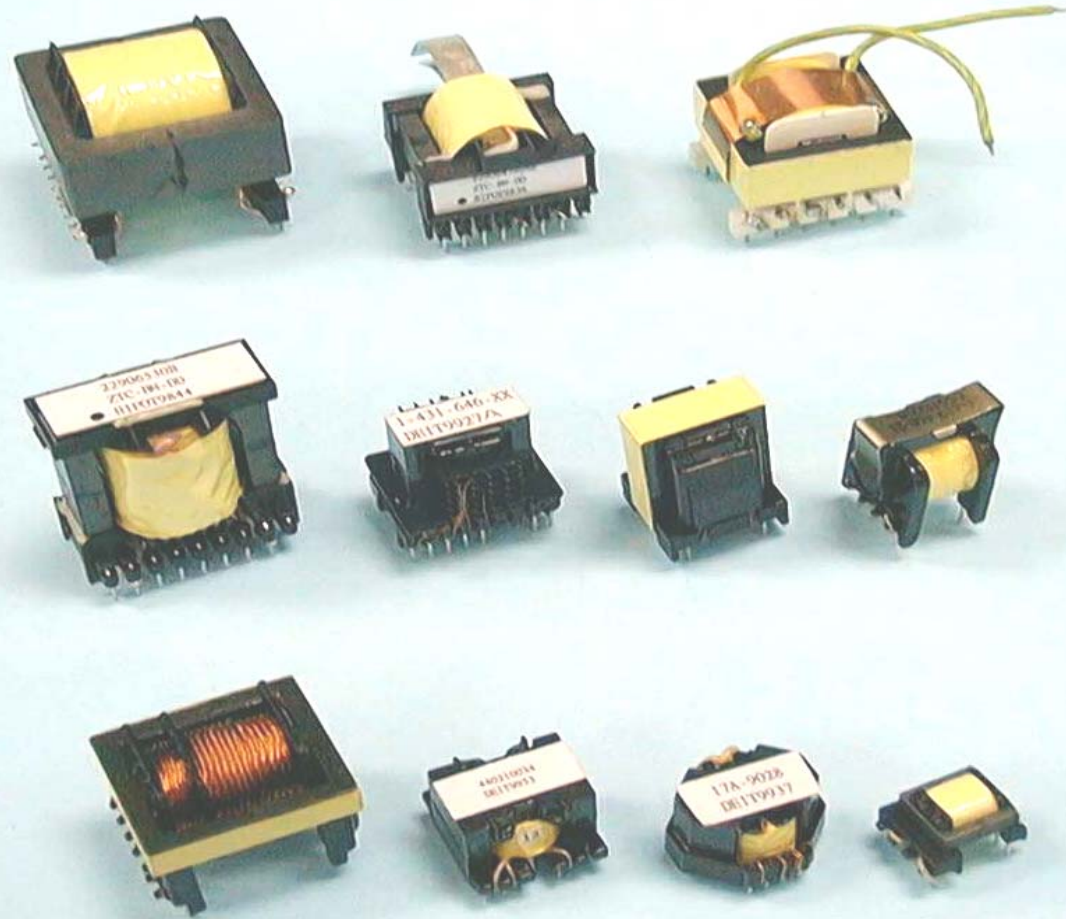
(Mn-Zn-Fe 铁氧体 PFC)

(三) 開關電源變壓器

開關變壓器

- 是將DC電壓，通過自激式震蕩或者IC它激式間歇震蕩形成高頻方波，通過變壓器耦合到次級，整流後達到各種所需DC電壓。
- 變壓器在電路中電磁感應的耦合作用，達到初、次級之間絕緣隔離，輸出所需各種高頻電壓。
- 目的：減小變壓器體積，使設備小形化，節約能源，提高穩壓精度，效率高，降低成本。

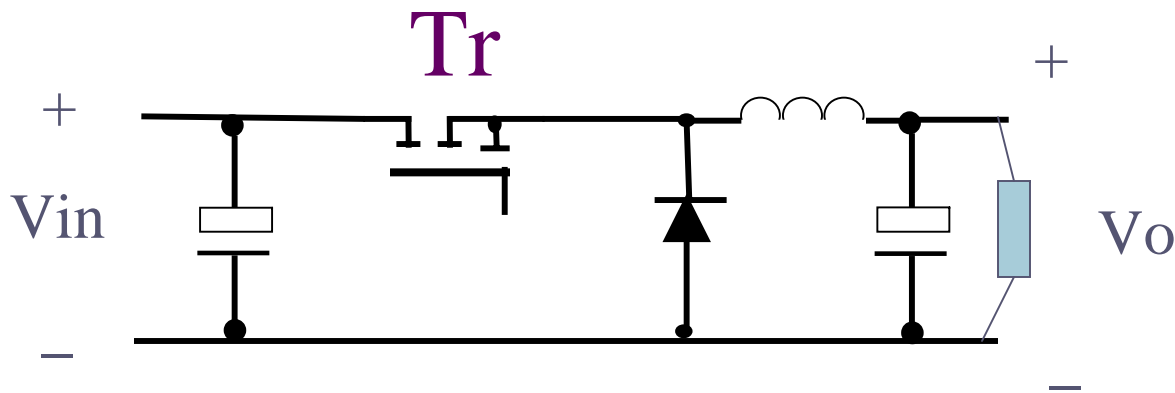
開關電源變壓器圖形



變換器電路

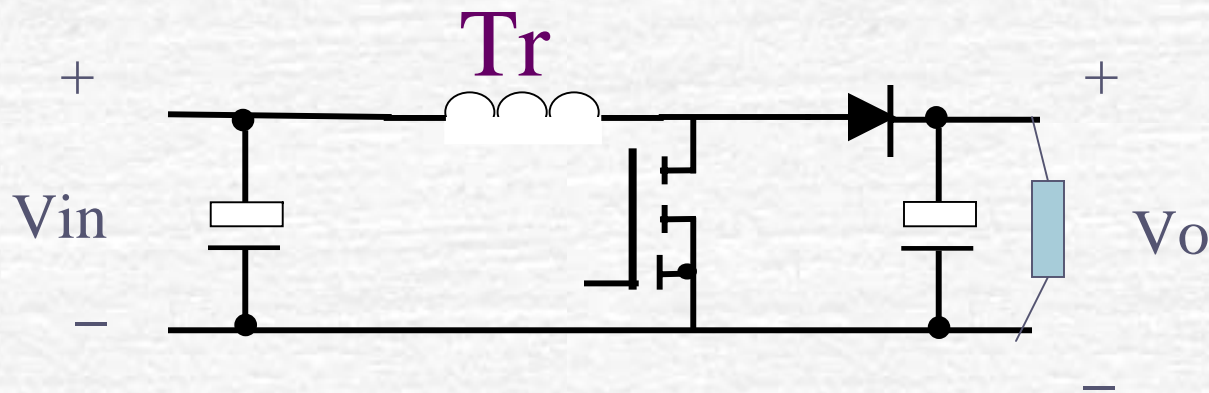
1) Buck Converter

- Buck為降壓變換器. 串聯開關穩壓電源. 也稱三端開關型降壓穩壓器.
- 電路由占空比D工作的Tr完成變換功能.



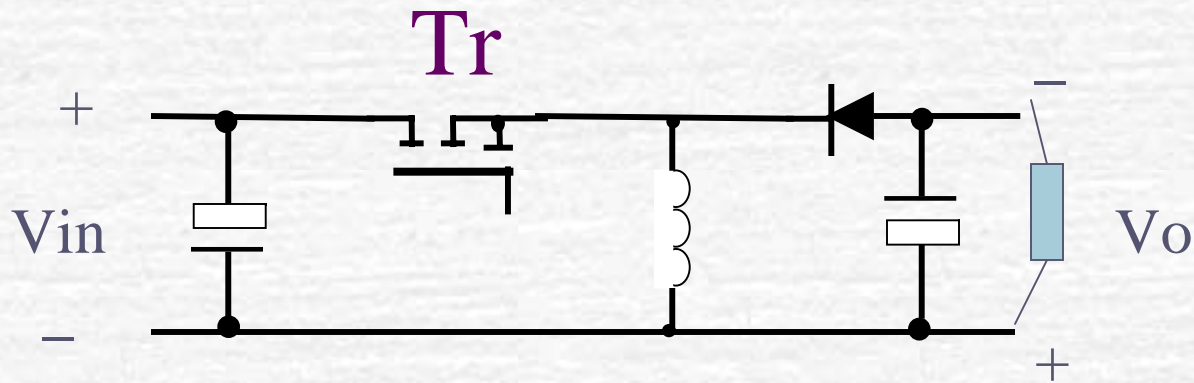
2) Boost Converter

- Boost 為升壓變換器. 并聯開關電路. 也稱三端開關型升壓穩壓器.



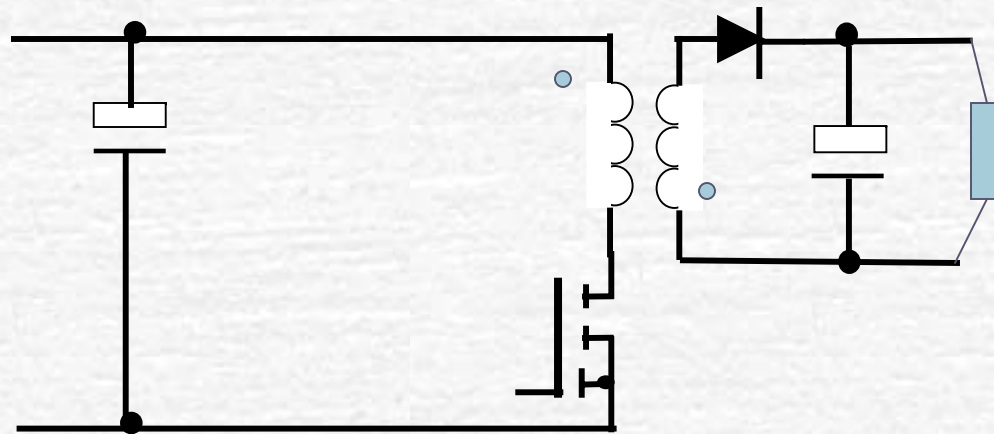
3) Buck-Boost Converter

- Buck-Boost 為降壓-升壓變換器。
- 也稱反相變換器。



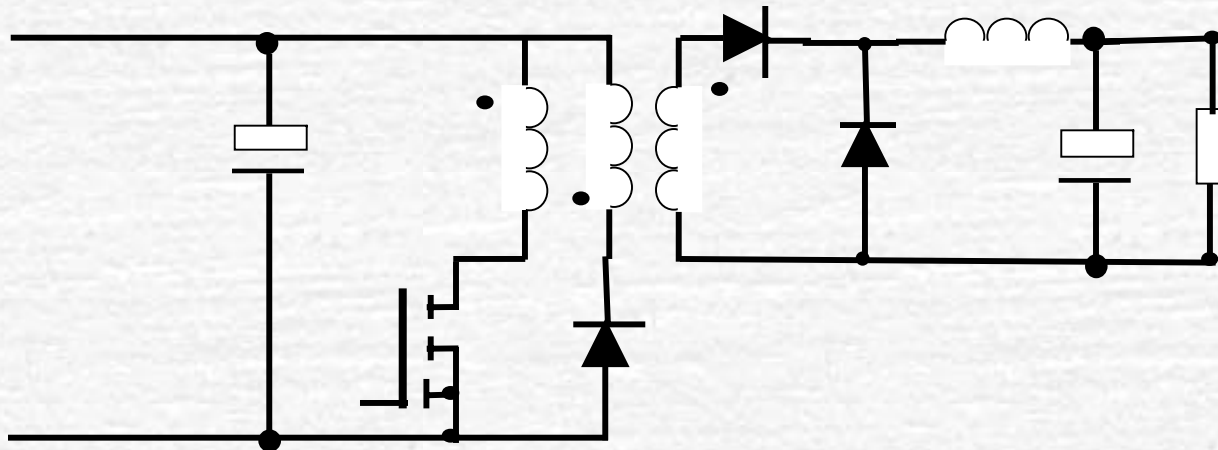
4) Flyback Converter

- Flyback是在Buck-Boost推演形成的
- 反激式變換器. 利用磁性的儲能. 形成電磁轉換.
- 電壓變換. 高壓隔離Flyback反相變換器



5) Forward Converter

- Forward是在Buck的變換器演變而得.
- 是在開關管Tr和續流二極管D之間加變壓器形成正激式變換器.



開關變壓器主要工作方式

一. 隔離方式: 有隔離; 非隔離 (TV&TVM11)

二. 激勵方式: 自激勵; 它激勵 (F_+ & IC)

三. 反饋方式: 自反饋; 它反饋 (F_- & IC)

四. 控制方式: PWM; PFM (T & T_{ON})

五. 常用電路形式: FLYBACK . FORWARD

Half-bridge Full-bridge Push-pull

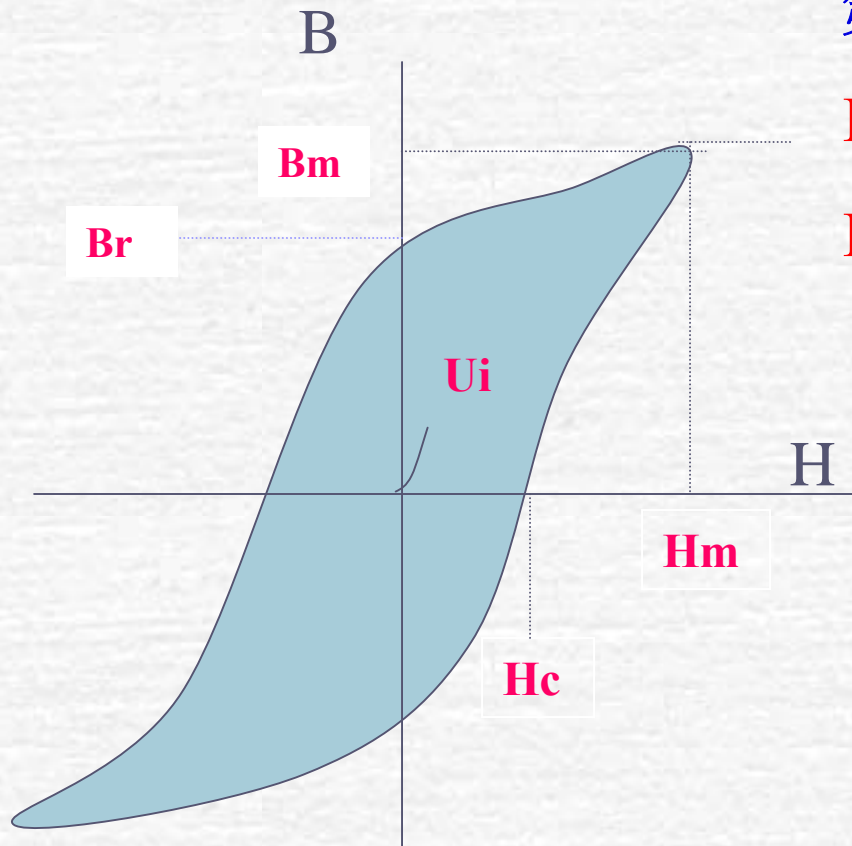
紅字為常用形式

變壓器磁性象限应用

第一象限：

Flyback

Forward



第三象限：

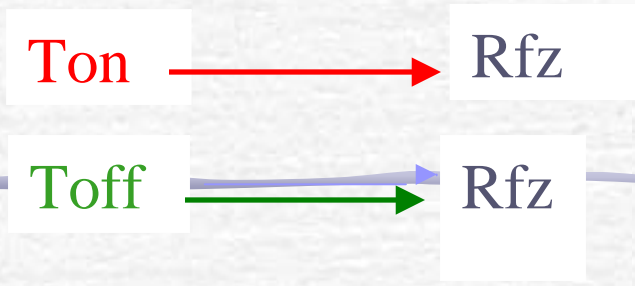
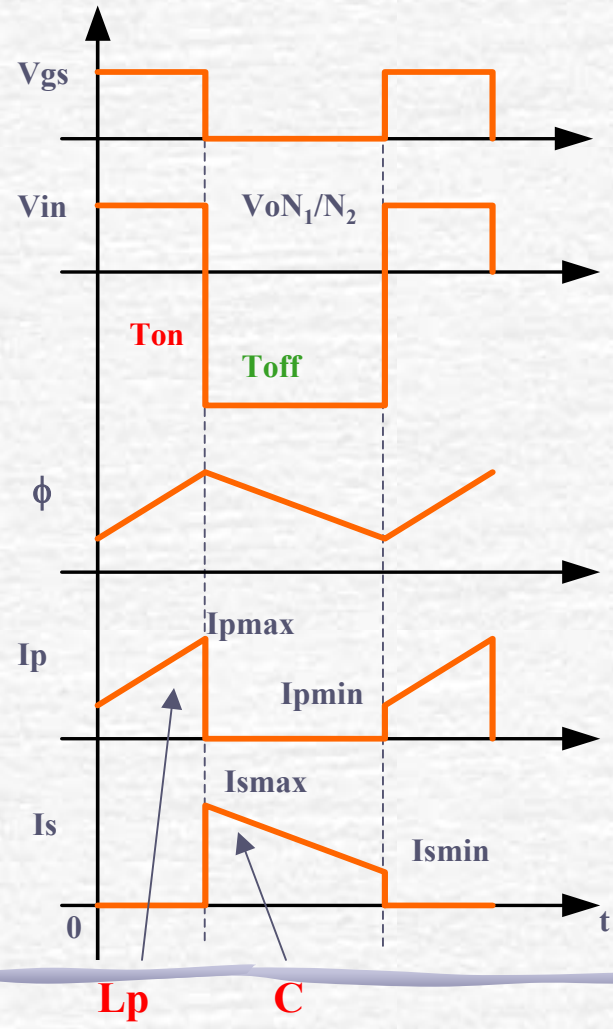
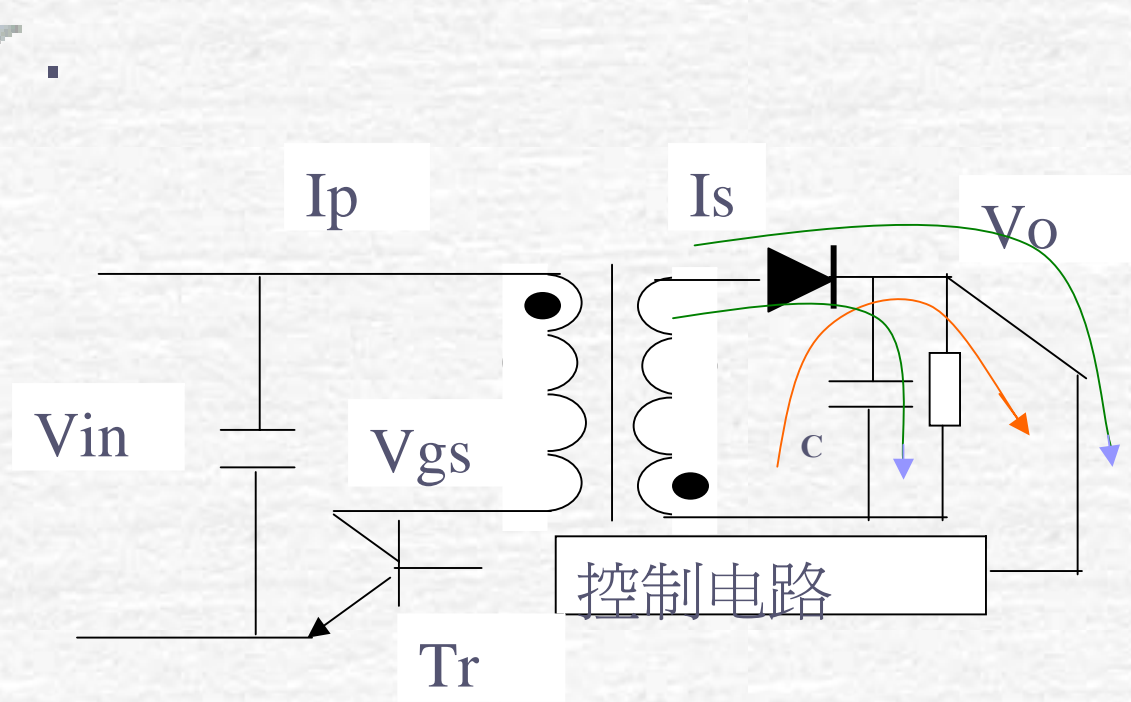
Half-bridge

Full-bridge

Push-pull

Flyback电路分析

FLYBACK单端反激励 (返駛式)



磁芯開氣隙前後比較

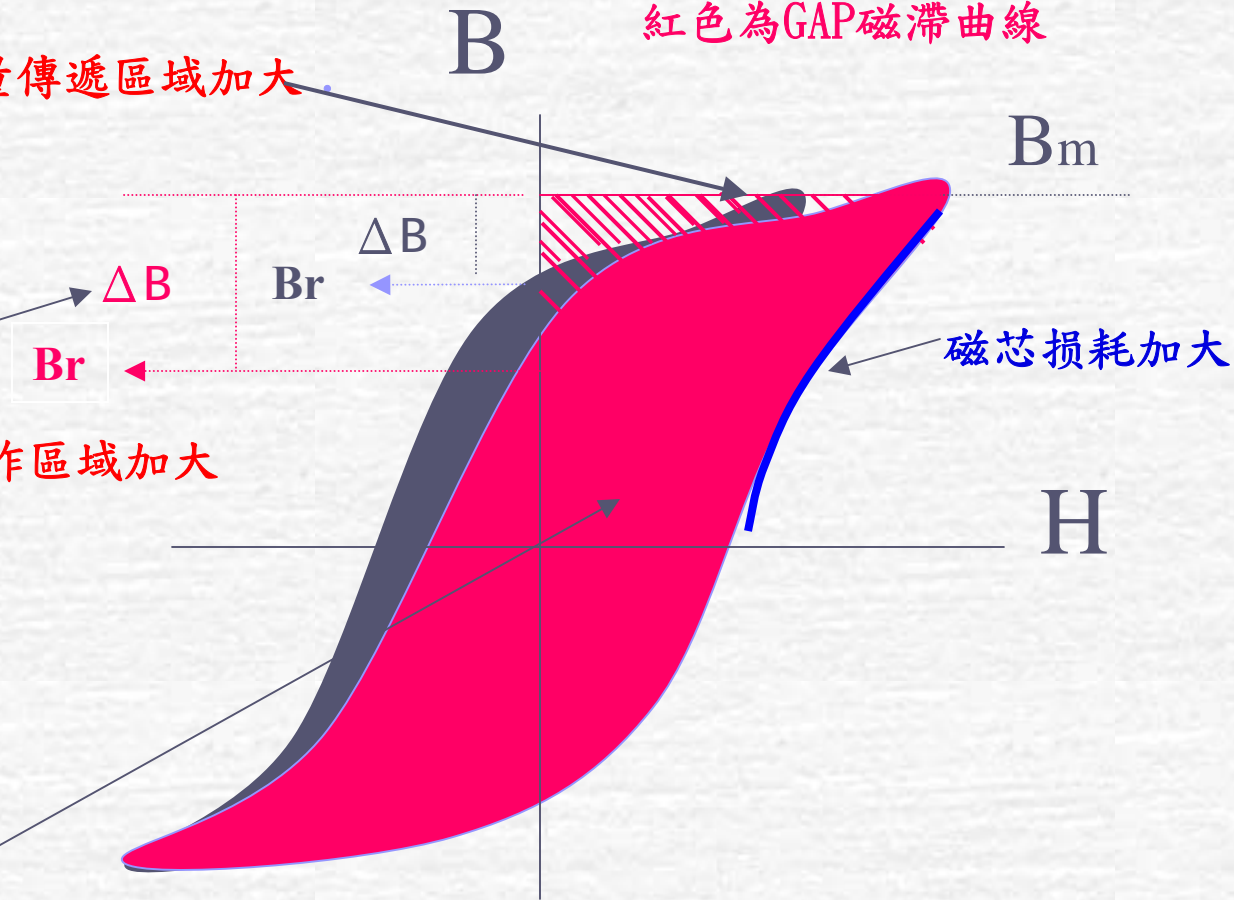
黑色為NO GAP磁滯曲線，
紅色為GAP磁滯曲線

1. 加GAP后H增加，能量傳遞區域加大。

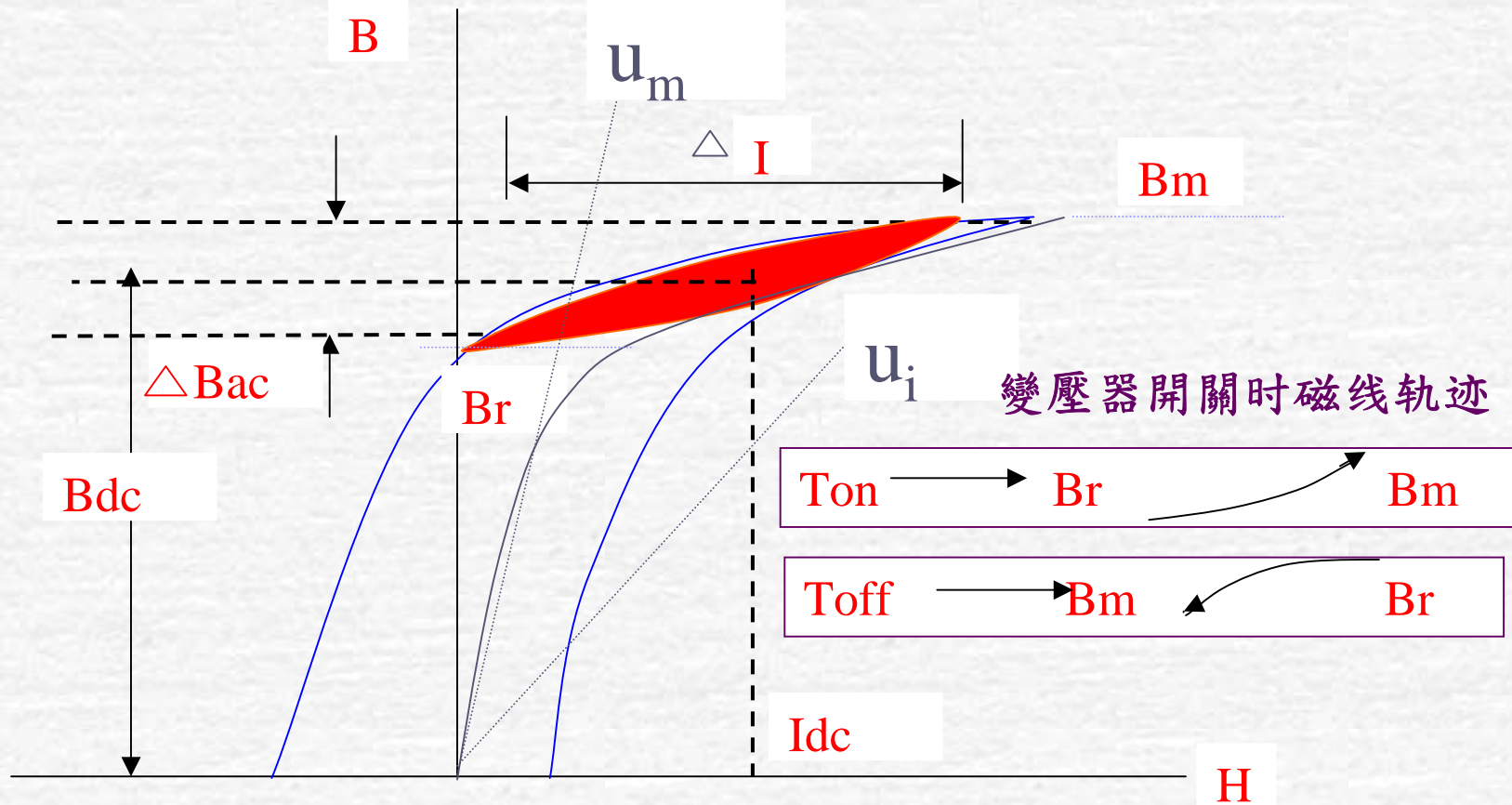
2. 加GAP后Br下降，工作區域加大

3. 加GAP后 $U_e < U_i$ ，損耗因子減小，Q值增加，使之增加磁場和溫度的穩定性。

***加GAP后磁芯損耗加大. 而且GAP對線圈產生切割損耗增加. (TEST T.R)

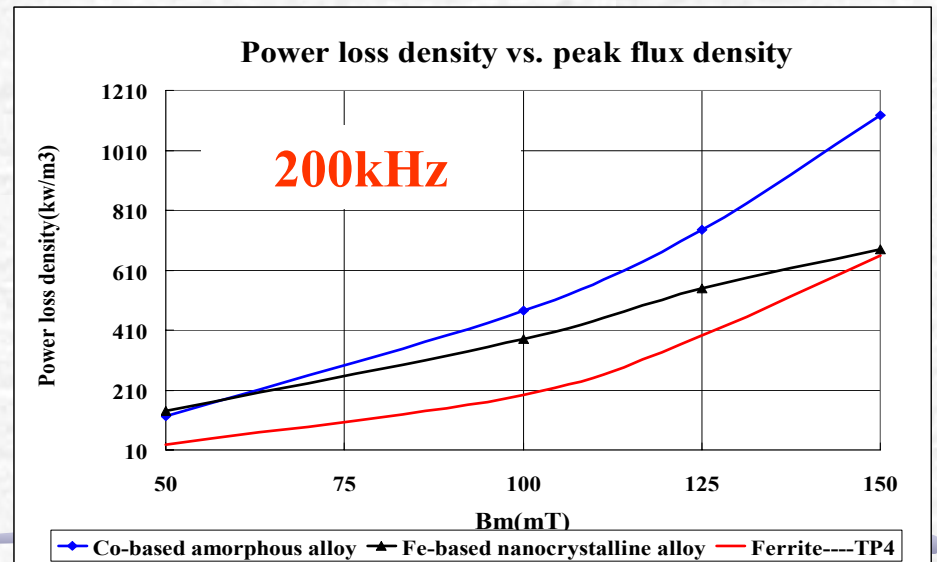
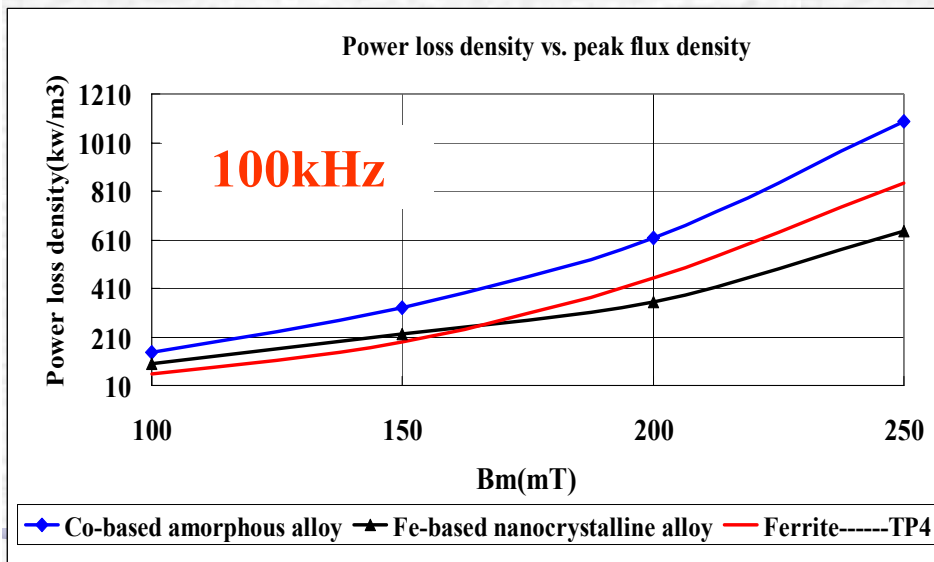
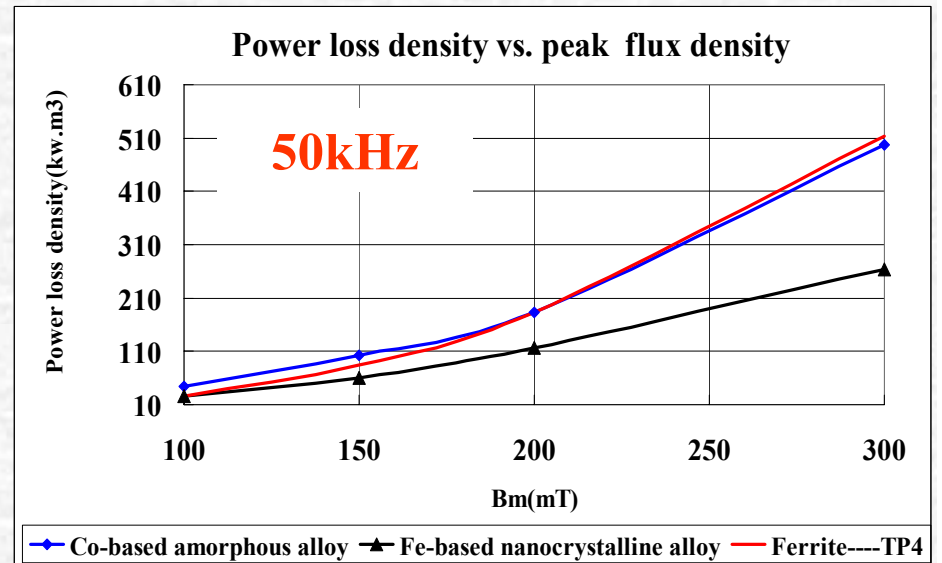
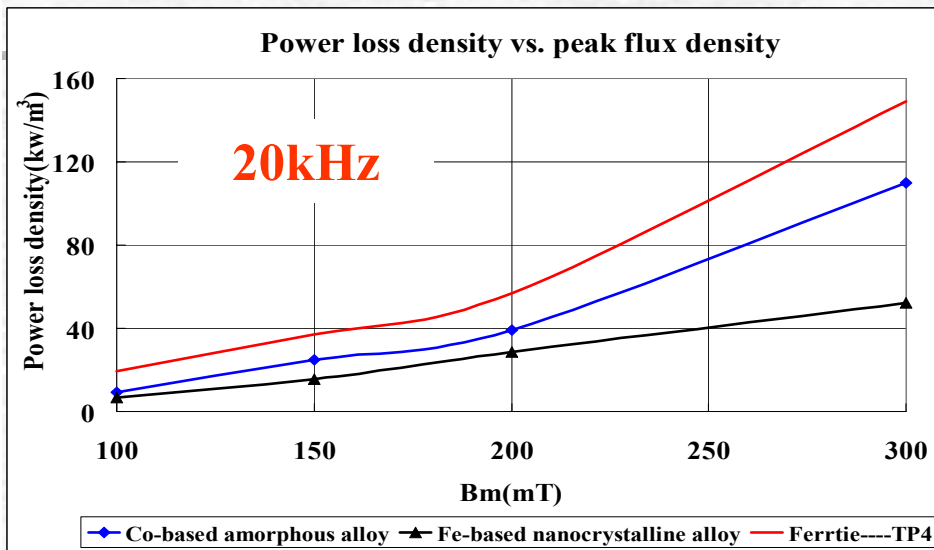


開關變壓器應用磁滯回線描述



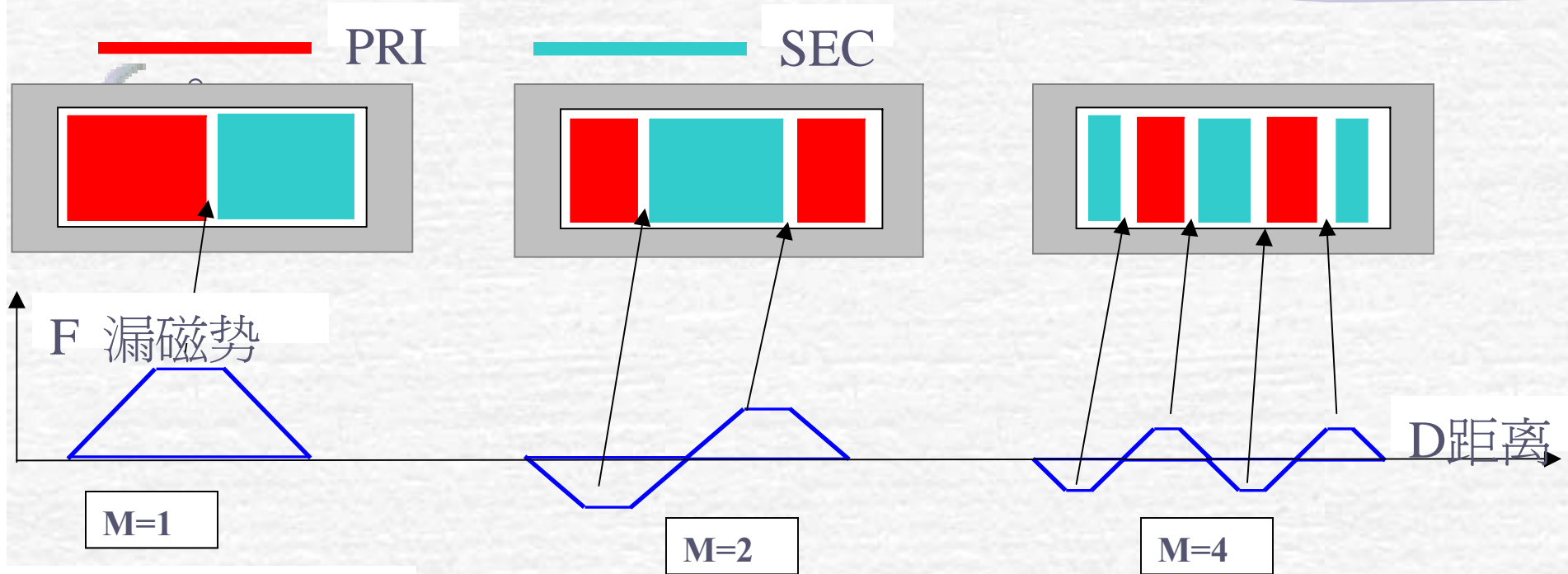
直流疊加：當交變磁場與直流磁場同時作用於磁性時，稱直流疊加。正弦作用時，磁通密度形成小磁滯回線時其峰值 $B_{ac}/2$ ，小磁滯回線平均斜率叫增量磁導率 $\mu_{\Delta} = 1/\mu_0 * \Delta B / \Delta H$

Power Loss Mn-Zn Co-Fe Fe (100°C)



***不同材料在不同频率时，其POWER LOSS也不同。

采用三明治绕线



M=漏磁势组数

通常**三明治绕法**都是將次級側夾在初級側之內，但是若是在多組輸出又是低壓，大電流且一個負載下，將二次側分為兩部分把一次側放在中間更好，這種繞法，銅損較低，且由於接近鐵芯所以交流電壓低可減少由一次側偶合之鐵心的高頻雜訊，**漏电感小**，損耗少。

三明治繞線的串聯方式&和并聯方式

例:2811230080(ER14.5)

串聯方式:PRI (5-A)+(A-1) Φ 0.23*2 5Ts+5Ts

并聯方式:PRI (5-1)// (5-1) Φ 0.23*1 10Ts//10Ts

串聯繞線工序:

并聯繞線工序:

1. 5-A Φ 0.23*2 5Ts TAPE*2

1. 5-1 Φ 0.23*1 10Ts TAPE*2

2. 9-6 Φ 0.15*3 BIFILAR 12Ts TAPE*2

2. 9-6 Φ 0.15*3 BIFILAR 12Ts TAPE*2

3. 10-8 Φ 0.15*3 BIFILAR 12Ts TAPE*2

3. 10-8 Φ 0.15*3 BIFILAR 12Ts TAPE*2

4. A-1 Φ 0.23*2 5Ts TAPE*2

4. 5-1 Φ 0.23*1 10Ts TAPE*2

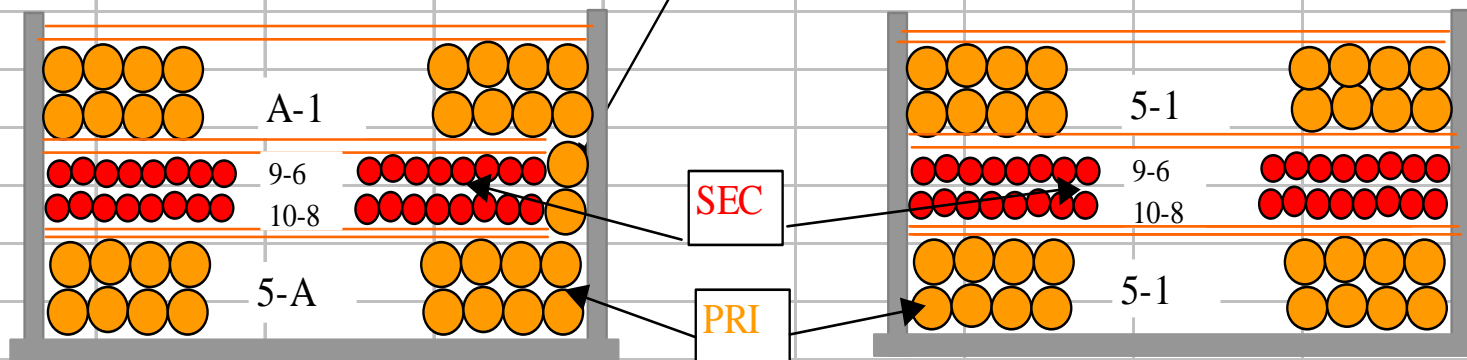
***A為不剪斷,續繞A-1

串聯方式:用于Vin<60V,Hi-POT<1500V,A線不剪斷

并聯方式:用于Vin>60電壓較大,且Hi-POT>1500V

實際PRI&SEC在側面碰在一起,如剪斷X線要點膠固定

此繞線方式避免碰線,避免繞SEC時A線絞線損傷線.



高频變壓器分佈参数（1）漏电感

理想變壓器中，若將二次側短路，則在一次側就會等效零阻抗，所以輸入的電流即呈無限大，但實際上，並非如此。因為偶合的不完全，即使沒有繞線阻抗，此電流也有一定大小，此不完全之偶合就產生漏磁通，轉換成漏電感形式在變壓器中。

所以漏電感在意義上，可表現變壓器繞阻間之偶合程度，也是一個限制電流通過的阻抗。因此它會對變壓器的穩壓產生影響，另外因為磁通意味著能量存在，故在高频變壓器中，它會形成功率晶體切換間的**尖波**，傷害到功率元件，因此低的漏電感是多數電路設計之共同需求。

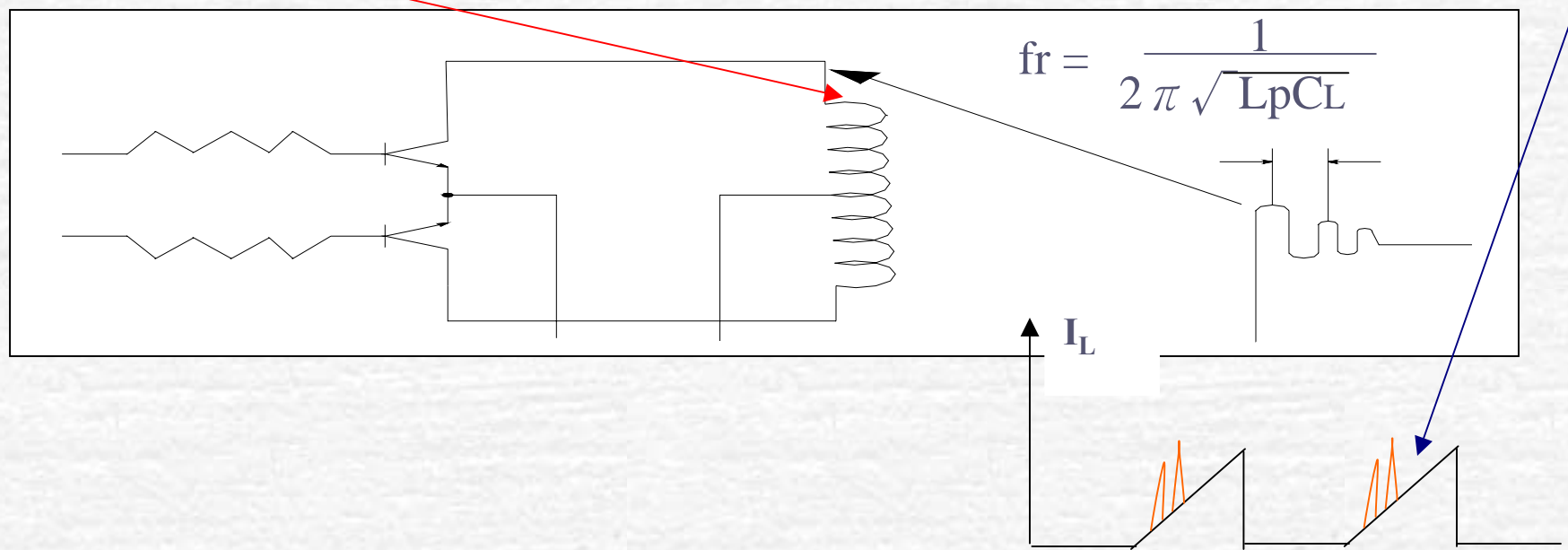
漏電感造成电压尖波



高频變壓器分佈參數 (2) 分佈電容

分佈電容 C_p : 在電感工作到一定頻率時, 繞線結構類似導體有如電容電板之作用, 有電容值, 一般稱分布電容. $X_c = 1/2\pi f C_p$

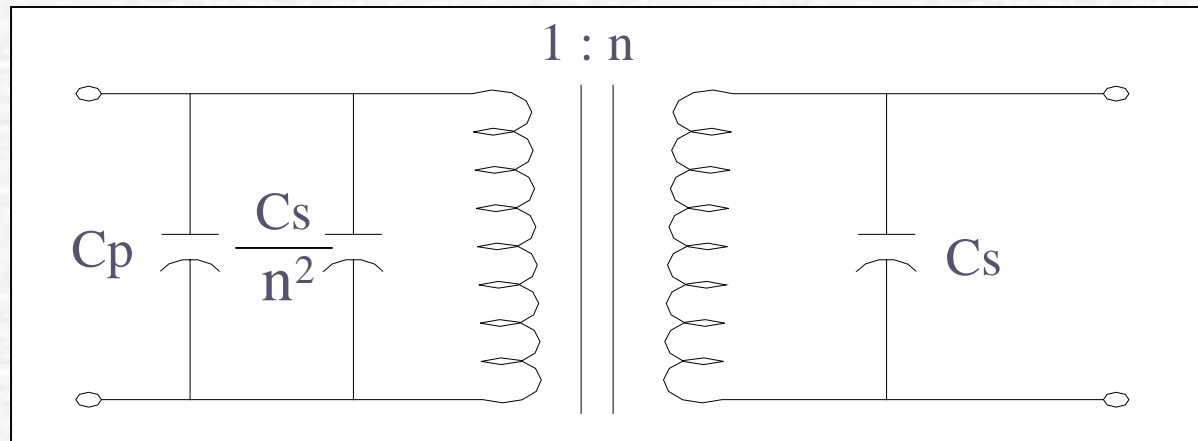
當分佈電容上電壓產生變化都會有雜訊產生而且當變壓器不動作時, 我們可由等效電路中看出其分佈電容 C_p 虽小, 但是 L, C正好組成一共振電路. 就會形成電路極大的損失, 輸入電流帶較大雜訊波形



****當開關管 (導通) 由於開關寄生電容及變壓器 C_p 產生浪湧電流, 流向開關產生很大雜訊。**

分布電容的主要因素

在多層繞阻時，層間電容才是決定雜散電容的主要因素，同樣二次側的電容層間 C_s ，其反射至一次側的電容就相當於 C_s/n ， n 為一二次側的圈數比，故全部的層間電容為 $C_p + C_s/n$ ，如圖



*****相对而言漏感 L_k 小，电容 C_p 大。在设计变压器中是一对矛盾**

三明治绕线方式分布電容大

高频變壓器分佈参数（2）集膚效應

- 集膚效應 Wire Skin effect：線圈中流過高频電流時在開關頻率較高，電流只在導線的表皮流過，稱為集膚效應，高速開關下磁力線引起渦流，抵消中心電流，導線形成空心導體。
- 高频(100KHz—3MHz)
- 穿透深度 $\Delta = 66.1 / \sqrt{f}$ (mm) 高频時 線經不超過穿透深度 Δ 的兩倍為好。采用多股線
- 例 . $\Delta = 0.09$ $0.09 * 2 = 0.18$
- 選用 0.10—0.17 線經

(四) Inductor coil 電感線圈

電感線圈的功能：

1) 抑制電流變化的功能，

2) 磁場儲存能量的功能。

電流流經電感線圈時產生磁場，磁場的變化會產生電流的反方向感應電壓。這種特性稱為“電感值”

電感線圈兩端產生感應的電壓，

定義為 $V = L \, di / dt$ 也稱“交流電阻”

電感儲存能量 $P = 1/2 \, L \, I^2$

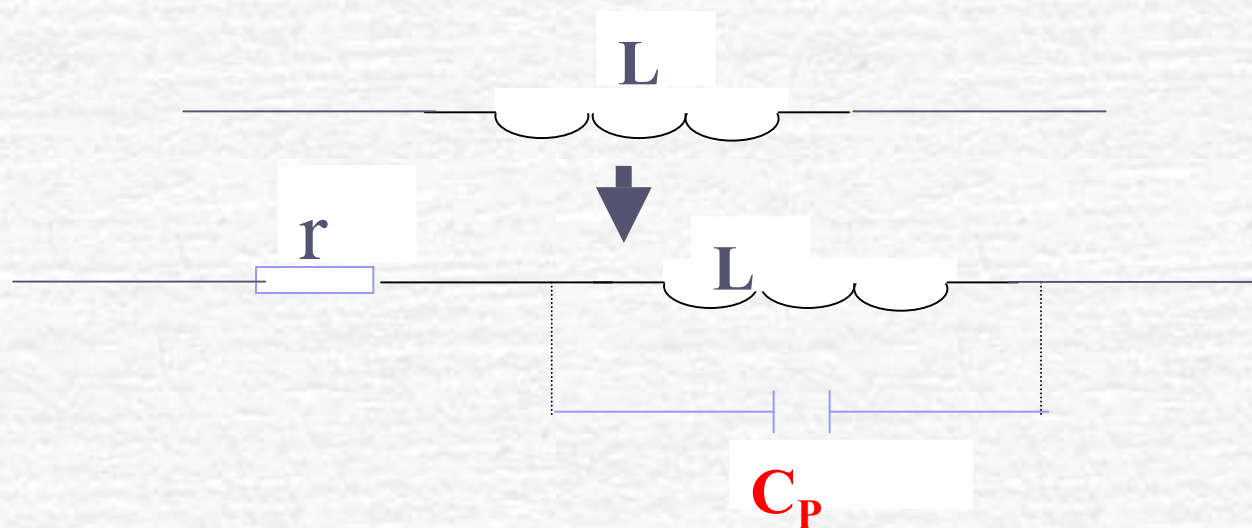
電感与磁芯关系 $L = N^2 * U_e * U_o * A_e / l_e$

*** 電感定義：電壓除以電流隨時間的變化率 $L = V / (\Delta I / \Delta t)$

電感線圈图形



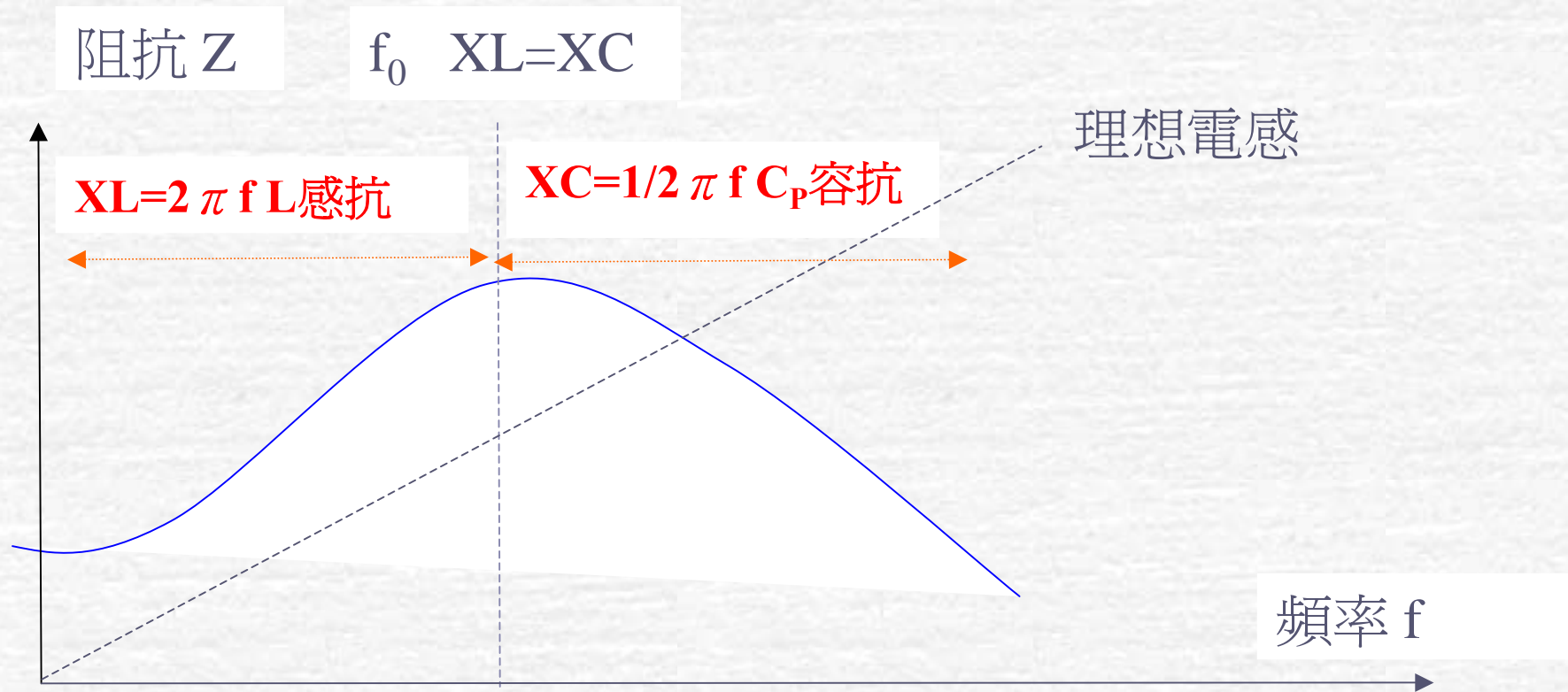
電感線圈等效電路



r 一般指繞線的內阻，電流經過線圈內阻所產生之能量損失“ I^2R ”，在此轉換成熱能。

C_p 在電感工作到一定頻率（**高频**）時，繞線結構類似導體有如電容電板之作用，有電容值，一般稱**分布電容**。 $X_c = 1/2\pi f C_p$

電感阻抗曲線



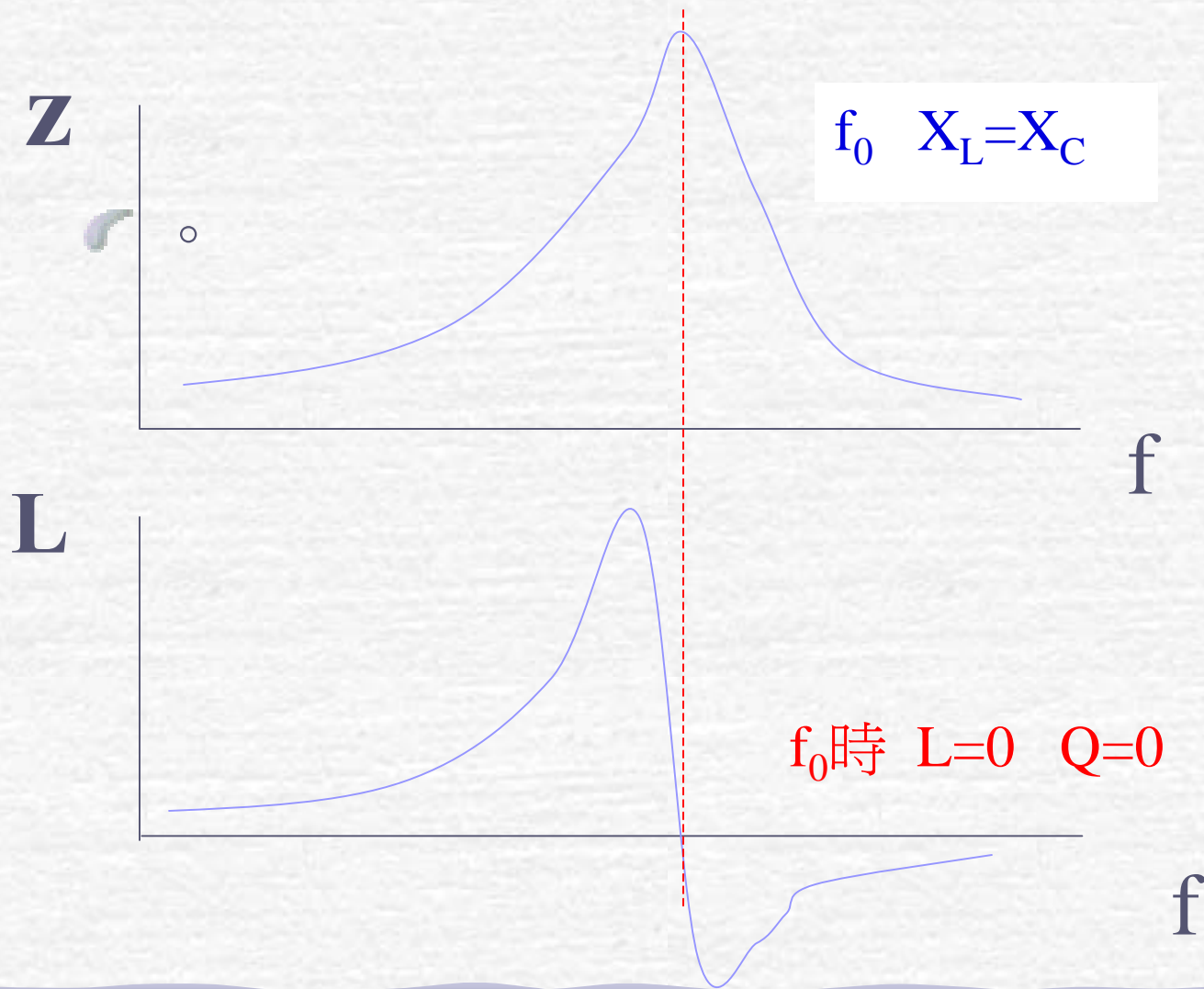
阻抗 $Z=r+XL+XC$

1. $f < F_0$ 時，電感器類似於一個電感。容抗可忽略不計，即： $Z=r+XL$

2. 電感器阻抗在導體的並聯諧振頻率 f_0 時達到峰值，此時 $XL=XC$ $Z=r$ ($Q=0$ $L=0$)

3. $f > F_0$ 時，頻率繼續增加，阻抗減小，此時電感器類似於一個電容。此時感抗可忽略不計，即有： $Z=r+XC$

典型阻抗Z & 電感L 圖形



*****當阻抗 $> f_0$, X_C 作用時, 此時電感出現 $-L$. 可用HP4194A TEST**

电感因素 A_L

电感额定值 (A_L):

是以每圈 (N) 的平方表示，

毫微亨 (10⁻⁹亨利) 值显示，即 (nH/N²)

电感 (L): $L = A_L * N^2$ (N=1时 $L = A_L$) $L = \mu_0 * \mu_e / C_1 * 10^3 * N^2$

$$A_L = L / N^2$$

(C_1 为磁芯尺寸因子)

A_L 的本质与有效磁通截面积, 有效磁路长度和材质

既定特性有关. 利用这一点, 可以用 Gap 和中孔调节

棒来调节电感范围.

设计电感线圈, 滤波器。CORE $A_L * N^2 =$ 需要电感 L

*** $U_i = L - L_0 / 4 \pi N^2 * L_e / A_e * 10^9$ (L_0 为无磁芯线圈)

品質因素Q

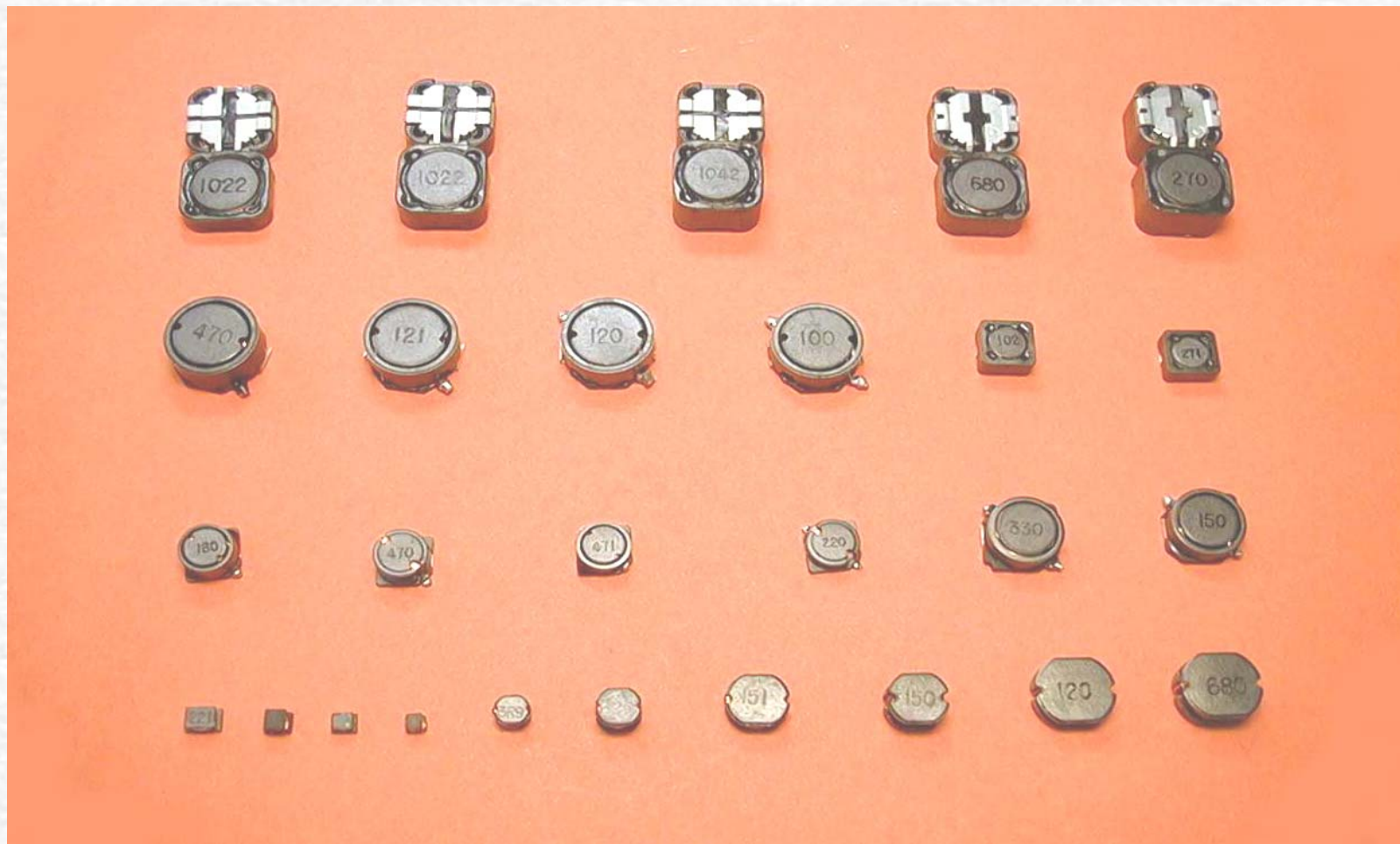
- 電感通常用Q值來表示它的質量
- $Q = \omega L / R_e = 2\pi f L / R_e$
- $R_e = r + R_c + R_w$ (內阻+磁損+銅損)

電感的品質因素Q是測量電感相對損失的指標，

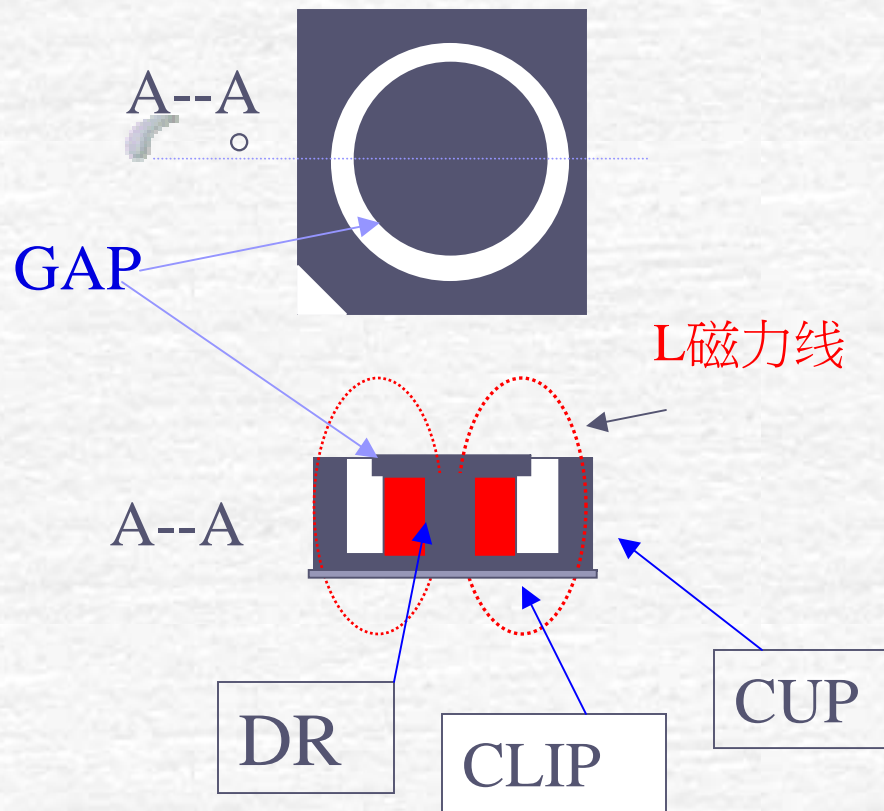
感抗 X_L ，有效電阻 R_e 都有關於頻率 f 。

Q值與頻率和繞組參數有關

功率电感 Power inductance



功率電感(DR+CUP)CORE組合

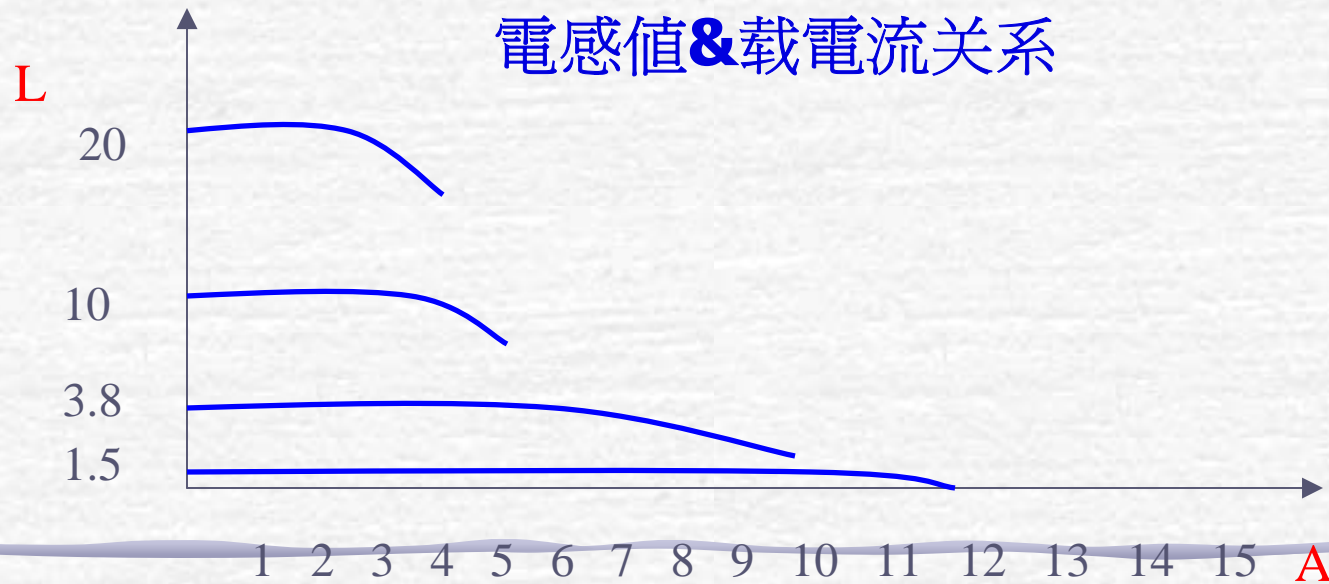


- 1) (Ni-Zn-Fe) 鎳鋅鐵氧体 **CORE DR+CORE CUP**使電感上升**60%-90%**，(視**GAP**大小)
- 2) 因为磁力线回路加大近一倍($H = \sqrt{2NI/L}$),所以载電流能力加大，功率增大.
- 3) 在電路中载電流能力，作为补偿電感时追求在多少電流下保持应有的電感为目的.
- 4) 使用鎳鋅**CORE**在電路中工作頻率較高.

功率電感主要測試參數

品名 P/N	電感 L (uH)	直流電阻 DCR(mΩ)	額定電流 I dc(A)	線經
SIL104-1R5	1.5+/-30%	8.1	10.0	0.45*2
SIL104-3R8	3.8+/-30%	13	6.0	0.32*3
SIL104-100	10+/-30%	35	4.4	0.31*2
SIL104-200	20+/-30%	73	2.9	0.26*2

電感值&載電流关系



***電感值高的載電流較小,且DCR大.

功率電感主要問題點

- 1) **GAP**的控制：控制好**GAP**才能保证功率電感的電感值一致性。
- 2) **胶水的正确特性**：胶水的应力（粘结强度**OR**硬度）对電感值会产生变化，会造成 **CLIP**的脫离，烤烘时间的浪费。
- 3) **CLIP**的氧化及平整度：**CLIP**的材质及操作过程的控制。
- 讨论一下胶水：

材料	EP382	EP399	EP391	K1401-11
粘度:	6万-15万,	5万-10万,	15万- 21万,	24万- 40万
硬度:	28-33	65-73	>80	>90
硬化時間: (130度)	120'	90'	60'	< 60'
抗拉強度: (Kg/cm ²)	>20	280-320	320-380	

1。粘度: 表示稠密程度，一般 水=1；机油=1000；牙膏=50000；蜂蜜=80000；

2。硬度: 表示胶水的结膜硬度，数值大，结膜能力强，硬化時間短，抗拉強度大。

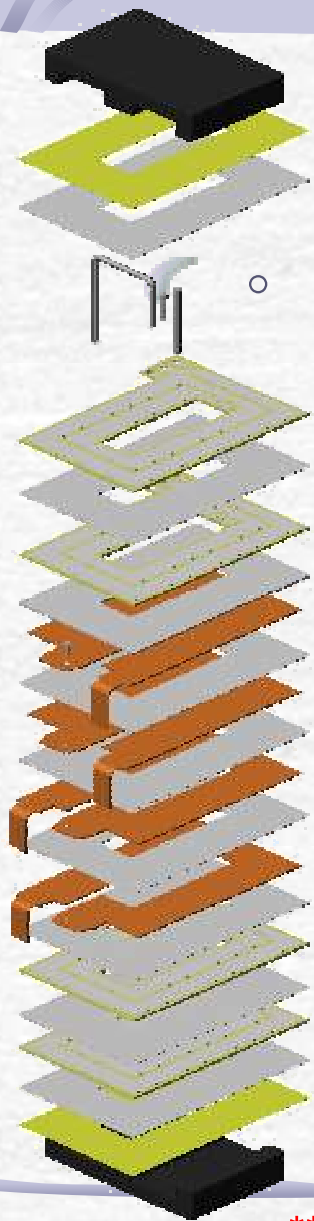
*****胶水的结膜硬度與胶水的固化剂多少有关,也就是正确選擇胶水特性是關鍵。**

變壓器最新結構

輕, 薄, 短, 小是電子產品發展的趨勢, 也是設計中的挑戰, 目前高頻化是所公認最容易達到目標的一種方法, 然而磁性元件傳統將同線繞於鐵芯上的構造, 對於高度的改善十分有限, 因此一種新的變壓器架構已被發展出來, 平面型(planar)或薄型(Low profile)比變壓器. 下面介紹一種平面型變壓器-----印刷電路板型-----如圖

利用印刷電路板, 將繞阻事先蝕刻, 形成圈數相異的漩渦型, 並在層與層間加薄膜絕緣. 然後再堆積, 形成初級線圈, 它除了與原線圈型變壓器相同之功能外, 此種構造還存在以下特點.

***集膚效應小;漏電感小;可靠性高;製造容易;重量輕;低高度。



欢迎批驳，仅供参考