

開關電源變壓器設計 (草稿)

開關變壓器是將 DC 電壓，通過自激勵震蕩或者 IC 它激勵間歇震蕩形成高頻方波，通過變壓器耦合到次級，整流后達到各種所需 DC 電壓。

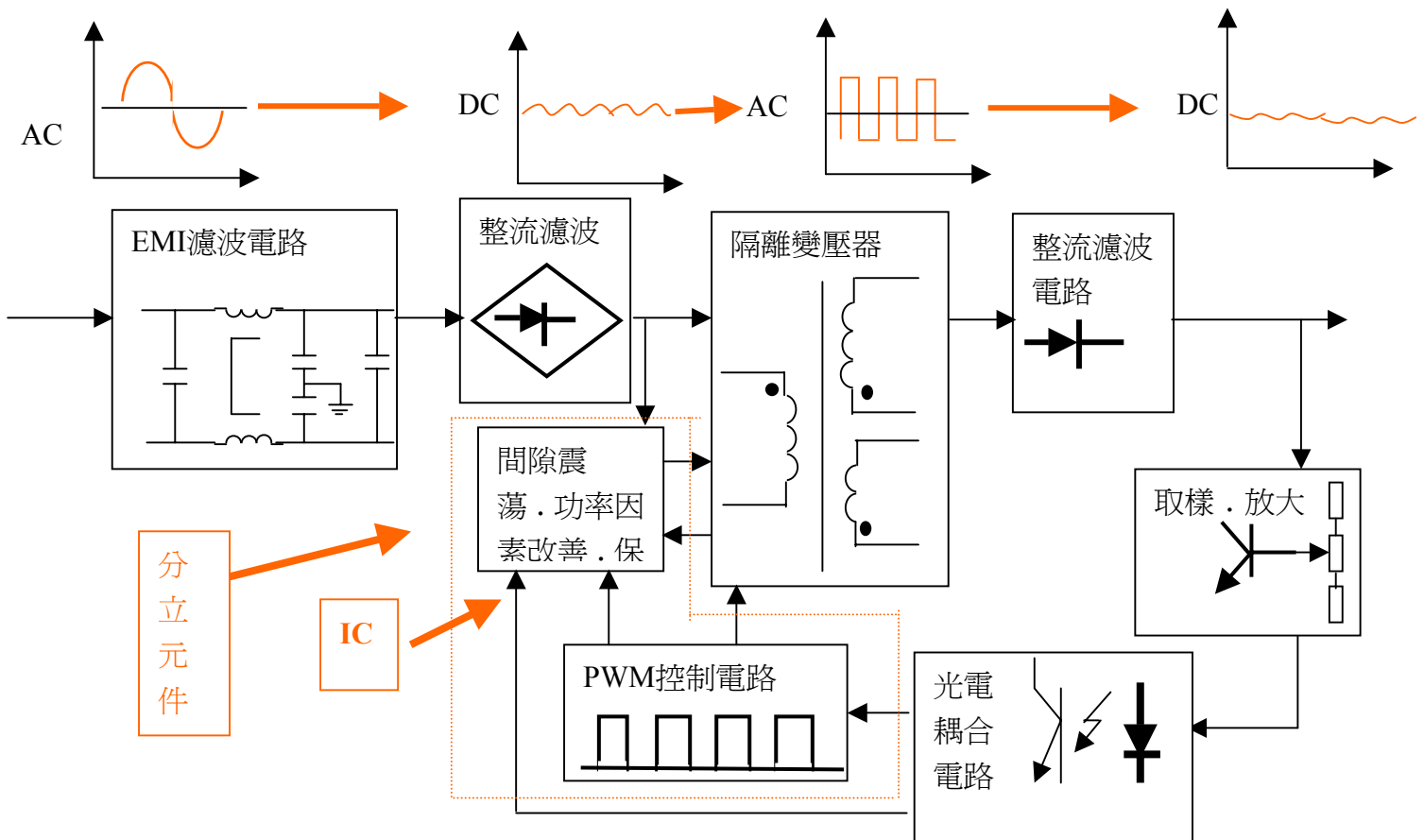
變壓器在電路中電磁感應的耦合作用，達到初、次級絕緣隔離，輸出實現各種高頻電壓。

目的：減小變壓器體積，降低成本，使設備小形化，節約能源，提高穩壓精度。

工頻變壓器與高頻變壓器的比較：

	工頻	高頻
公式	$E = 4.4f N A_e B_m$	$E = 4.0f N A_e B_m$
效率	$\eta = 60-80\%$ ($P_2 / P_2 + P_m + P_c$)	$\eta > 90\%$ ($P_2 / P_2 + P_m$)
功率因素	$\cos\psi = 0.6-0.7$ (系統 100W 供電 142W)	$\cos\psi > 0.90$ (系統 100W 供電 111W)
穩壓精度	$\Delta U\% = 1\%$ ($(U_{20} - U_2) / U_{20} * 100$)	$\Delta U < 0.2\%$
适配.控制性能	差	好
體積.重量	大	小

SPS 開關電源方框圖



(典型電路)

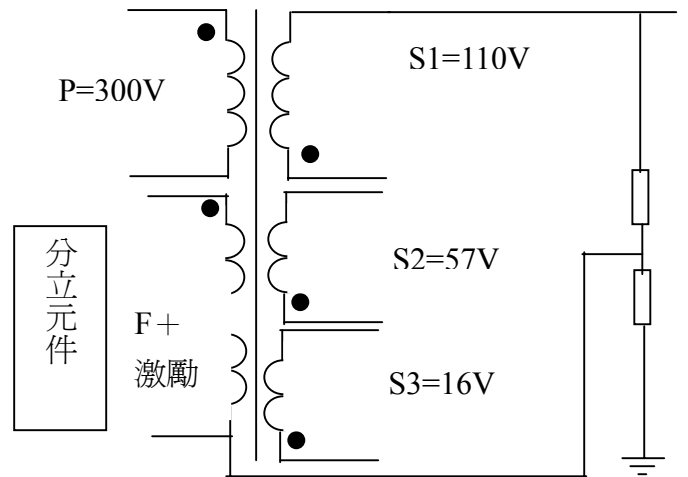
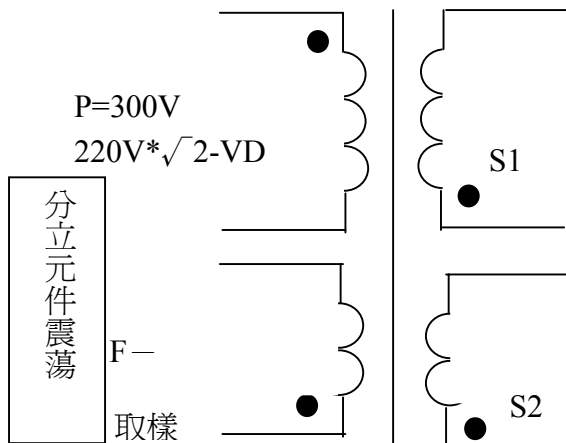
開關變壓器主要工作方式

- 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

一. 隔離方式:

有隔離:P-S 不共用地

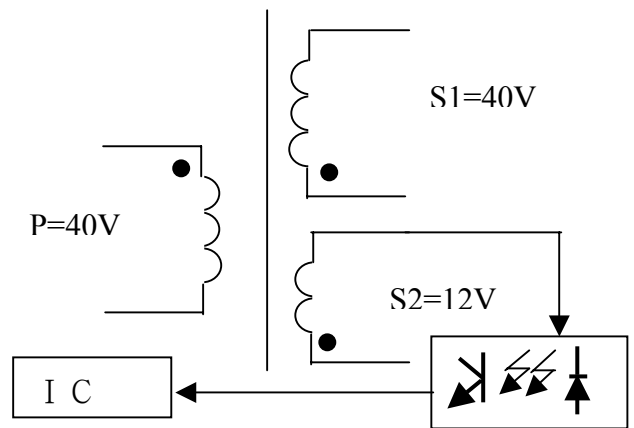
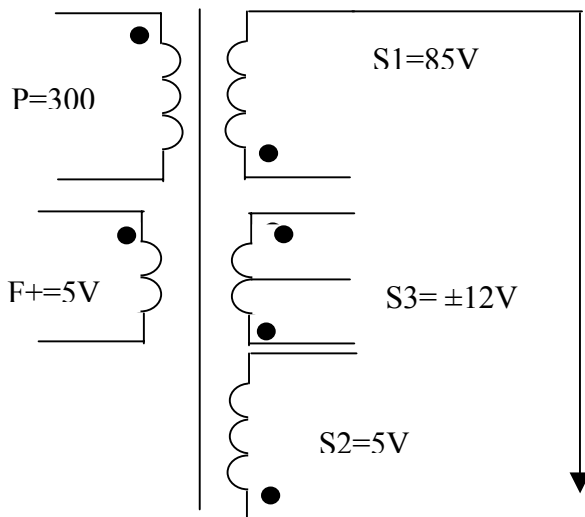
非隔離:P-S 共用地, 俗稱熱底板



二. 激勵方式:

自激勵: 用變壓器 F+ 自激勵震蕩

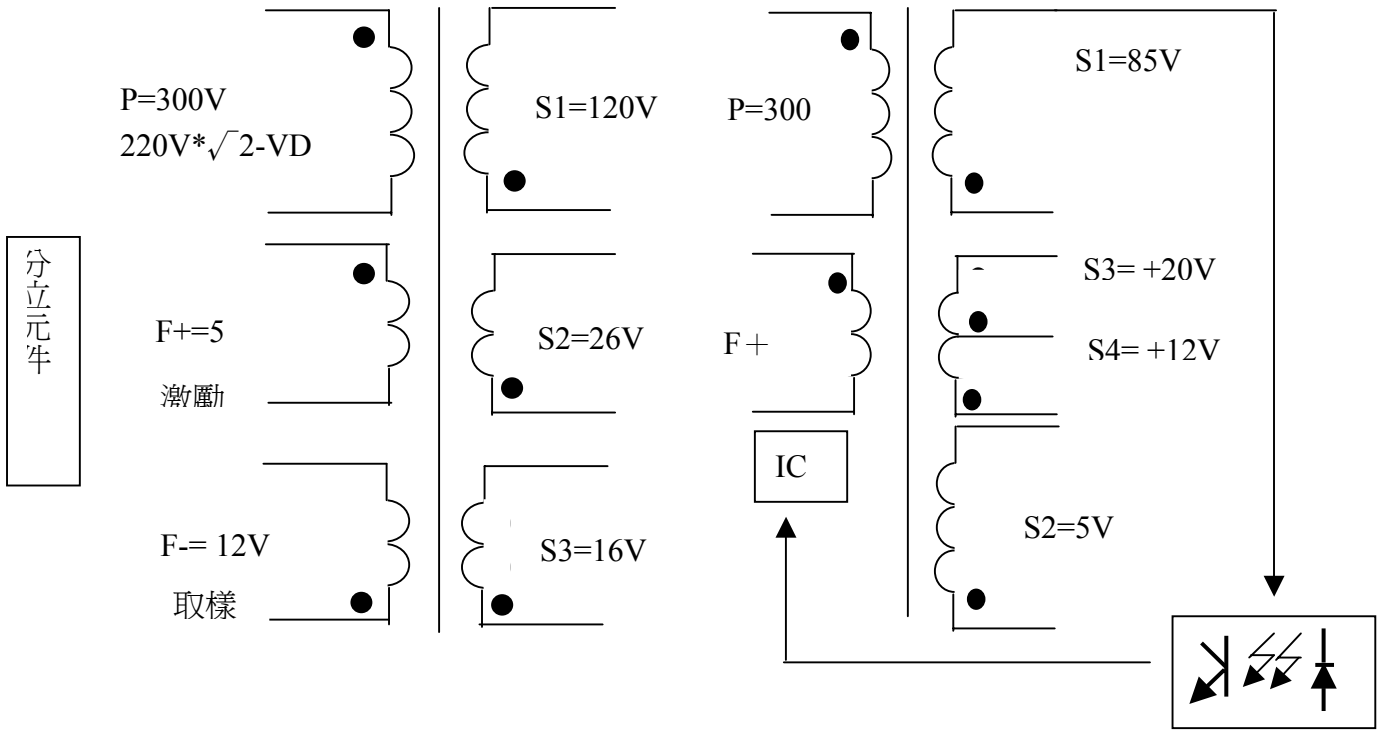
它激勵: 用集成 IC 它激勵間歇震蕩



三.反饋方式:

自反饋: 用變壓器 F-同步于主輸出
調整 T_{on} , 達到輸出穩定 .

它反饋: 用集成 IC 接受輸出光電
耦合信號, 調整 T_{on} , 達到輸出穩定 .



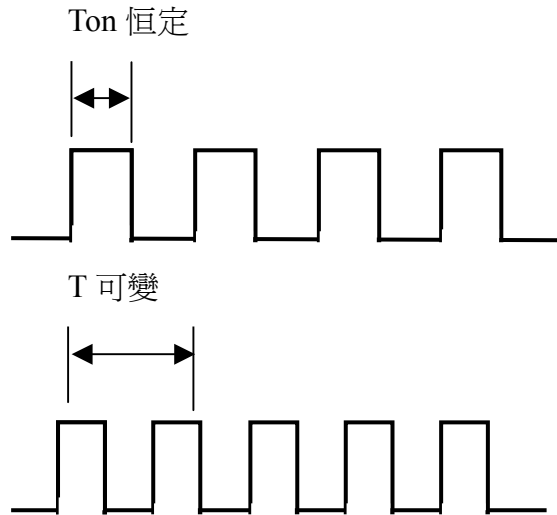
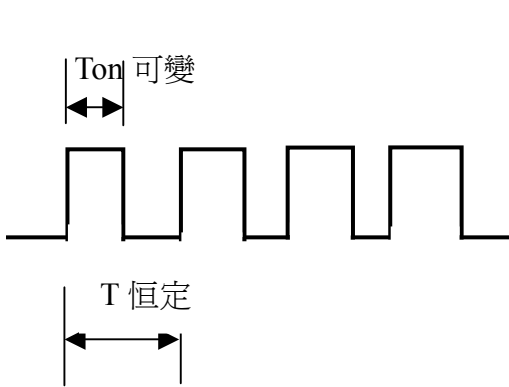
四.控制方式:

PWM:

PFM

脈沖寬度調制

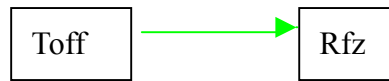
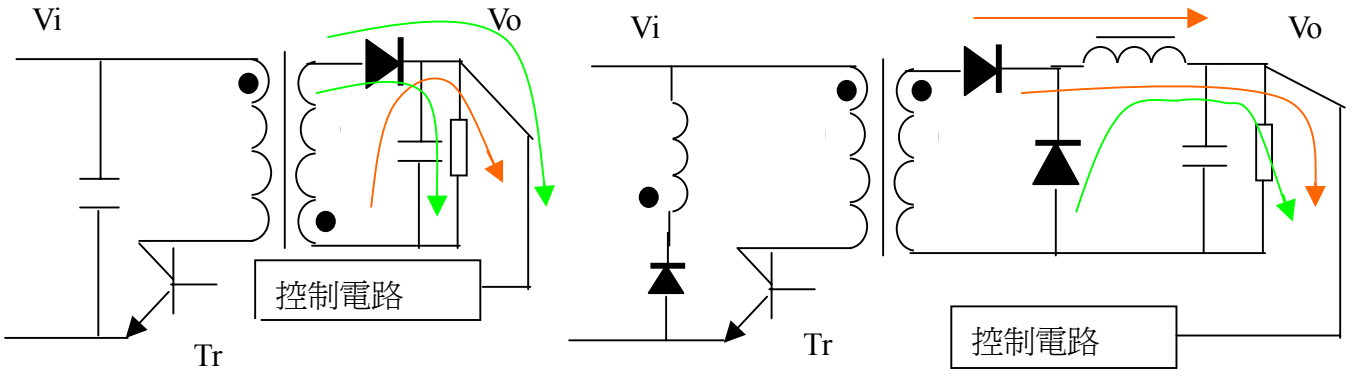
脈沖頻率調制



五.常用電路形式:

單端反激勵 FLYBACK

單端正激勵 FORWARD



開關變壓器主要設計參數

靜態測試參數:

R_{DC} . L . L_K . L_{DC} . T_R . I_R . HI-POT. $I_{V_{O-P}}$. C_p . Z . Q

動態測試參數:

V_i . I_o . V_o . T_a . U . F . D_{max}
 Δ

材料選擇參數

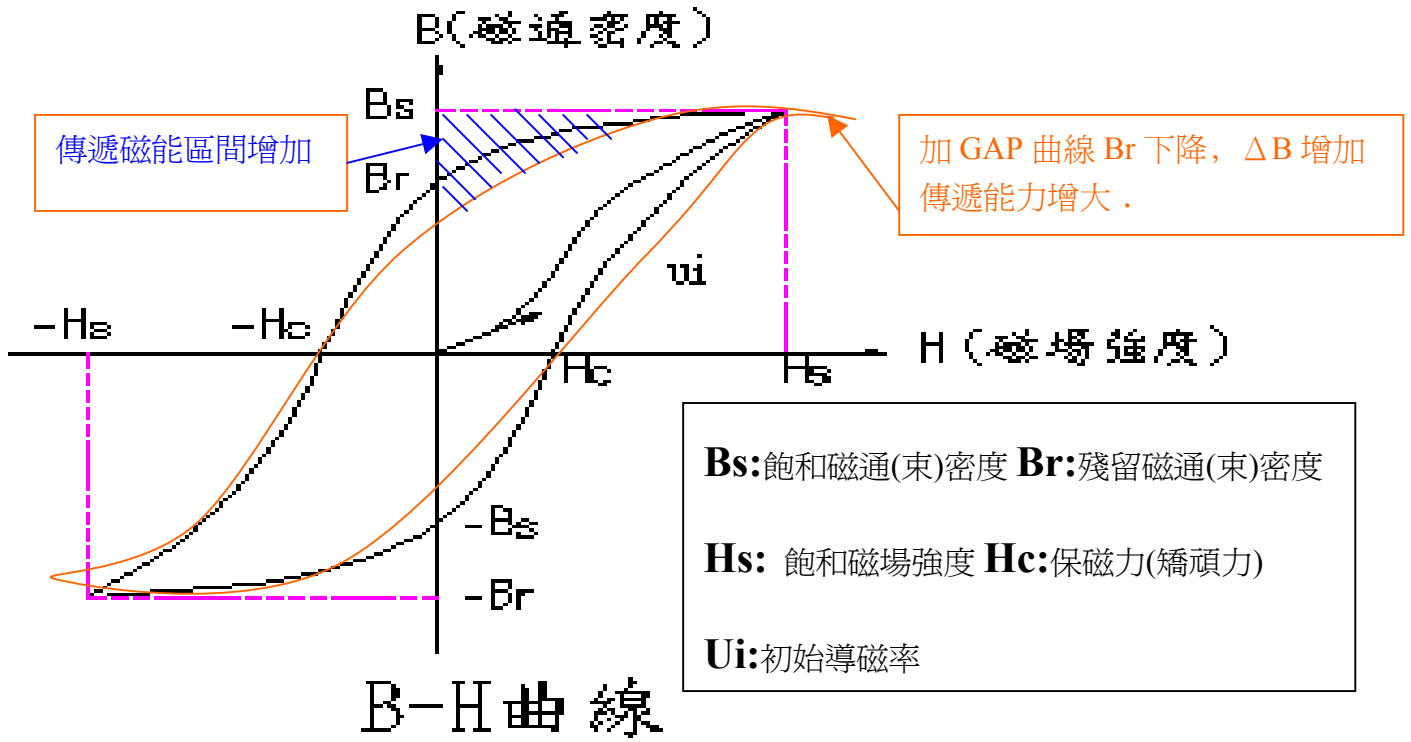
CORE: P . P_c . U_i . A_L . A_e . B_s

WIRE: Φ_c . $\Phi_{I_{max}}$. HI-POT.....

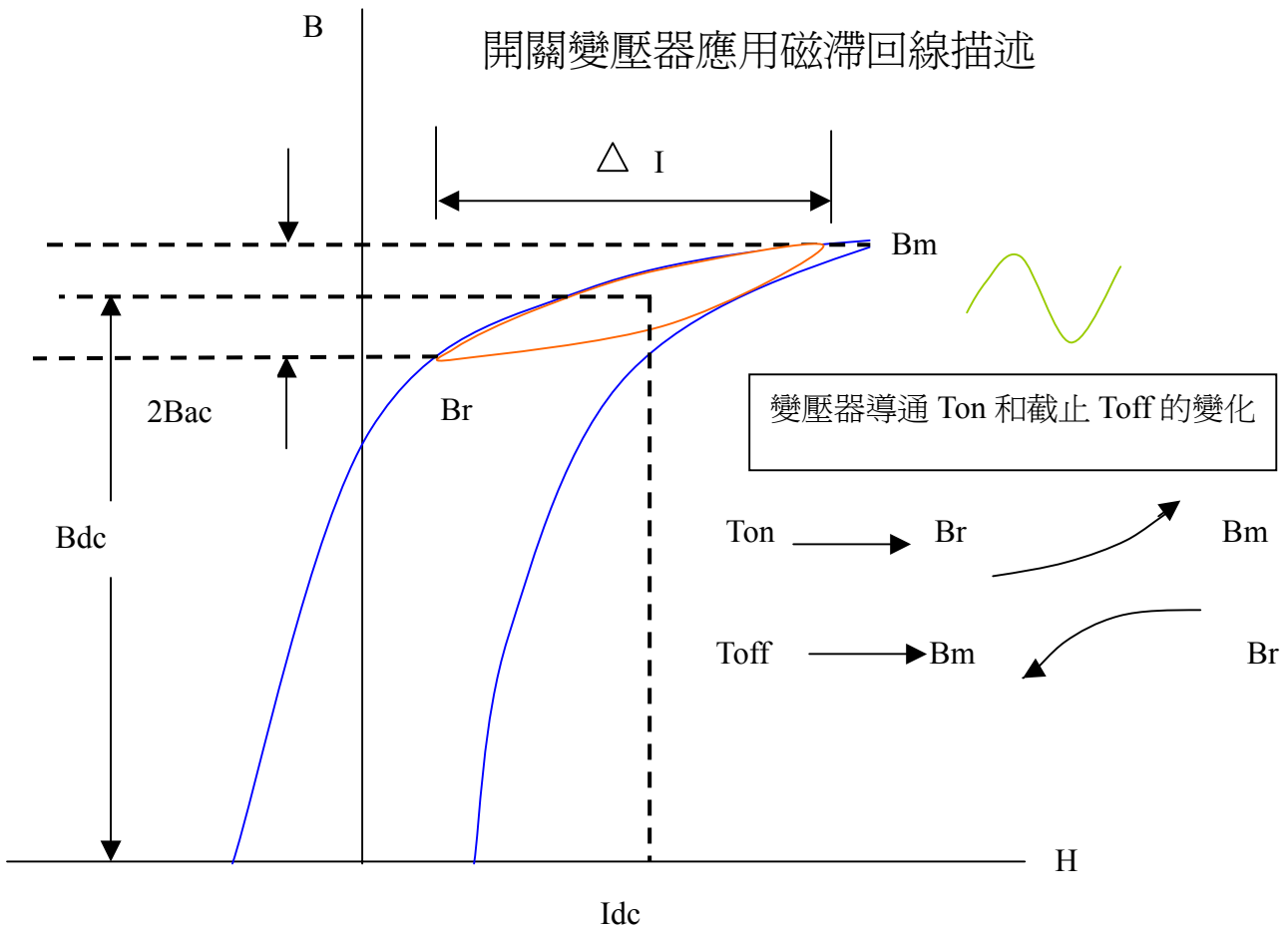
BOBBIN: UL94 V--O.(PBT. PHENOLIC. NYLON).....

TAPE: $^{\circ}C$. δ_h . HI-POT.....

製程設置要求..

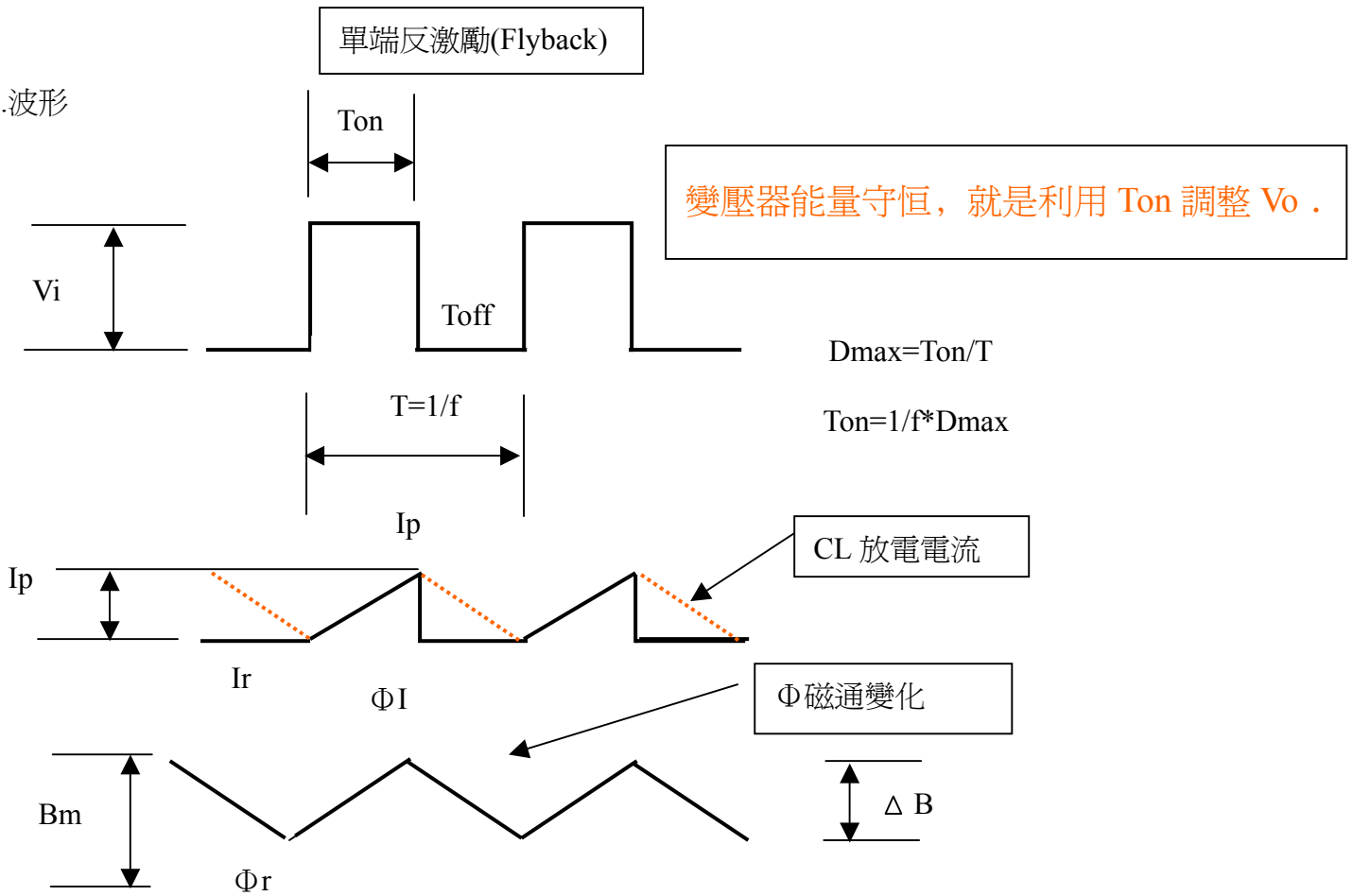


單端反激勵 FLYBACK 調節 TON 使能量守恒定 $\frac{1}{2} * L_P * I_{PK}^2 = \frac{1}{2} * L_S * I_{SK}^2$



單端反激勵(Flyback)

一. 波形



單端反激勵(Flyback)波形分爲:臨界狀態,非連續狀態, 連續狀態(常用狀態).

二. 設計公式

$$P_o = 1/2 L_p I_{pk}^2 * f (\eta) \quad V_{i_{min}} = I_{pk} * L_p / T_{on}$$

$$P_o / V_{i_{min}} \quad I_{pk} = 2P_o / D_{max} V_{i_{min}} \quad (P_o = V_o I_o)$$

$$V_{i_{min}} * T_{on} = I_{pk} * L_p \quad L_p = V_{i_{min}} * D_{max} / I_{pk} * f$$

$$N_p = L_p * I_{pk} / A_e * \Delta B \quad N_p = \Delta B * I_g / 0.4 \pi * I_{pk}$$

$$I_g = 0.4 \pi L_p I_{pk}^2 / A_e * \Delta B^2$$

$$V_o + V_D = V_{i_{min}} * (D_{max} / (1 - D_{max})) * N_s / N_p$$

$$N_s = (V_o + V_D) * (1 - D_{max}) * N_p / V_{i_{min}} * D_{max}$$

$$Core = g/w (f = 20k_{Hz}, REF)$$

$$D_{min} = D_{max} / (1 - D_{max}) K + D_{max}$$

$$K = V_{i_{max}} / V_{i_{min}}$$

單端反激勵(Flyback)設計例題一

條件：

$V_i = 170V - 270V$, $f = 30K_{HZ}$ $V_o = 5V$, $I_o = 20A$, $D_{max} = 0.45$ (設計取值)

設計：

- 1) $V_{i \min} = 170 * 1.4 - 20 = 218V$, $V_{i \max} = 270 * 1.4 - 20 = 358V$

$$\underline{V_{i \min}} = 170 * \sqrt{2 - (V_D \cdot \Delta U)}$$

$$\underline{V_{i \max}} = 270 * \sqrt{2 - (V_D \cdot \Delta U)}$$

$$\underline{V_{i \min}} = \sqrt{\frac{(V_{iACMIN})^2 - 2Po(1/2fL - tc)}{\eta CIN}}$$
- 2) $I_{pk} = 2 * 5 * 20 / 218 * 0.45 = 2.04A$

$$I_{pk} = 2Po / D_{max} V_{i \min} \quad (Po = VoIo) \quad Po = 1 / 2LI_{pk}^2 * f(\eta)$$
- 3) $L_p = 218 * 0.45 / 2.04 * 30000 = 1.6mH$

$$L_p = V_{i \min} * D_{max} / I_{pk} * f$$
- 4) $K = 358 / 218 = 1.64$

$$K = V_{i \max} / V_{i \min}$$
- 5) $D_{min} = 0.45 / (1 - 0.45) * 1.64 + 0.45 = 0.332$

$$D_{min} = D_{max} / (1 - D_{max})K + D_{max}$$
- 6) CORE 查表 100W 選擇 EER42 / 15 $A_e = 183mm^2(1.83cm^2)$ $B_s = 390mT(3900Gs)$

$$Core = g/w(f = 20kHz REF)$$
- 7) WIRE 查表 或 $S\Phi = \sqrt{I/3} = \sqrt{20/3} = 2.58mm$ 選"銅箔"為佳. $P\Phi = \sqrt{2.04/3} = 0.82$, 選 0.60X2

$$r^2 * \pi \quad (2.58/2)^2 * 3.14 = 5.225$$
 選擇 19#, $\Phi = 0.98 * 7$ $(0.98/2)^2 * 3.14 * 7 = 5.277$ (4Pin 並繞)
- 8) $I_g = (0.4 * 3.14 * 1.6 * 10^{-3} * 2.04^2 / 1.83 * 1950^2) * 10^8 = 0.12cm$

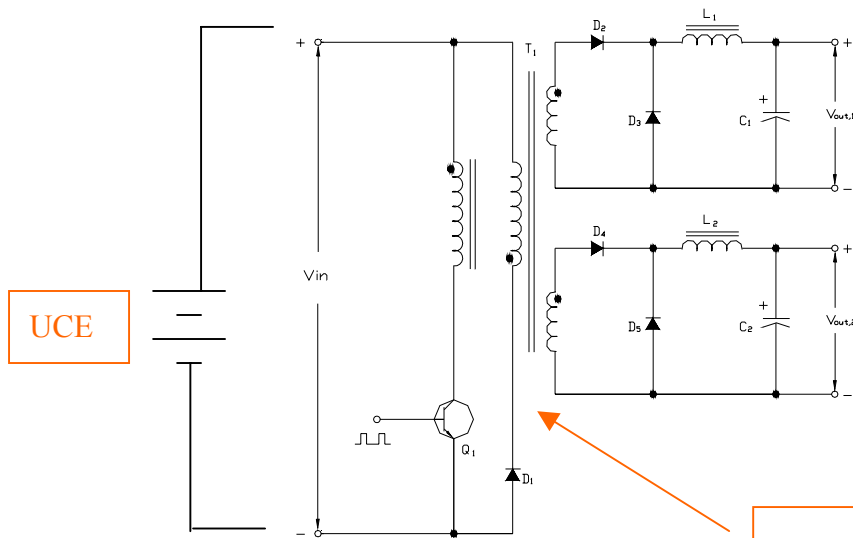
$$I_g = 0.4 \pi L_p I_{pk}^2 / A_e * \Delta B^2$$
- 9) $N_p = 1950 * 0.12 / 0.4 * 3.14 * 2.04 = 91.32T$ $N_p = (0.0016 * 2.04 / 1.83 * 1950) * 10^8 = 91.46T$

$$N_p = \Delta B * I_g / 0.4 \pi * I_{pk}$$

$$N_p = L_p * I_{pk} / A_e * \Delta B$$
- 10) $N_s = (5 + 1) * (1 - 0.45) * 91 / 218 * 0.45 = 3.06T$ $N_s = (V_o + V_D) * (1 - D_{max}) * N_p / V_{i \min} * D_{max}$
- 11) $P = 1/2 * 1.6 * 2.04^2 * 30 = 96W$ $P = 1/2LI^2 * f$

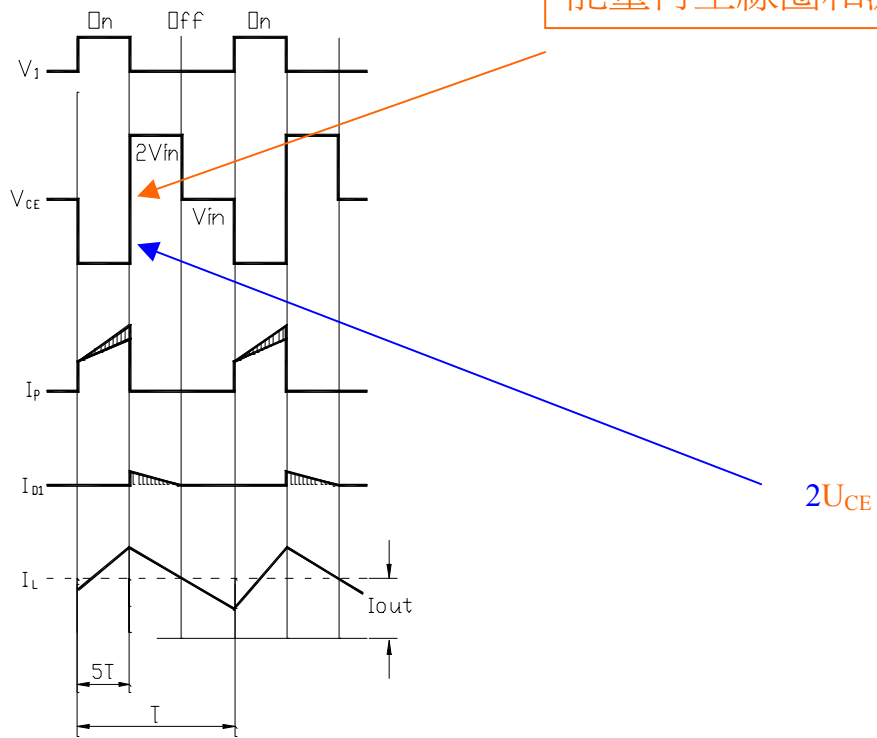
另一种 A P 法, 計算參數查找麻煩

單端正激勵(Forward)



能量再生線圈和波形

一，波形



二，設計公式：

單端正激勵(FORWARD)設計例題一

已知條件:

輸入電壓 . $V_i = 48V (36\sim 60V)$, 額定輸出電壓 . 電流 . $V_o = 5.0V . I_o = 11A$

額定輸出功率 55W. 最大輸出功率 65W

$f = 470kHz (450\sim 500 kHz)$ $\delta_{max} = 0.42$ $\eta = 82$

設計步驟: 選擇 PC50. 3F3. N49 等材質

選 PC50. EPC25. $A_e = 46.4mm^2$. $L_e = 59.2mm$. $B_s = 3800Gs$

1): $I_{pk} = I_c = 2P_{OUT} / V_{inmin} = 2*65 / 36 = 3.6A$

2): $N_p = V_{inmax} * 10^8 / (4FB_{max} * A_e)$ 取 $B_{max} = 2000G$
 $= 60 * 10^8 / (4 * 450K * 2000G * 0.464) = 4TS$, 調整為 6TS

3): $N_s = N_p * (V_o + V_D) / (V_i * \delta_{max})$
 $= 4 * (5.5 + 1) / (36 * 0.42) = 1.7TS$ 調整為 2TS

4): 反饋繞組. $N = N_p * (15 + 1) / (36 * 0.42) = 6 * 16 / (36 * 0.42) = 6TS$

5): 選擇繞組線徑 $N_p: \Phi 0.1 * 120C$
 $N_s: \Phi 0.1 * 200C$
 $N: \Phi 0.25$

6): 由於為安全電壓. 故不須包 MARGIN TAPE.

單端正激勵(FORWARD)設計例題二

已知條件:

輸入電壓 . $V_i = 100V (85V\sim 135V)$,

額定輸出電壓 . 電流 . $V_o = 5.0V (4.5\sim 5.5) . I_o = 20A$

$f = 200kHz$ $\delta_{max} = 0.42$

設計步驟: 選擇 PC40..TP4 等材質

選 TP4. EE28C. $A_e = 87.4mm^2$. $B_s = 3800Gs$ 取 $B_{max} = 2000G$

1): $T = 1/f_o = 1/200K = 5\mu s$

2): $T_{onmax} = T * D_{max} = 5 * 0.42 = 2.1\mu s$

3): $V_{2min} = (V_o + V_L + V_F) * T / T_{onmax} = (5.5 + 0.2 + 0.5) * 5 / 2.1 = 14.8V$

4): $n = V_{2min} / V_{1min} = 14.8 / 100 = 0.148$

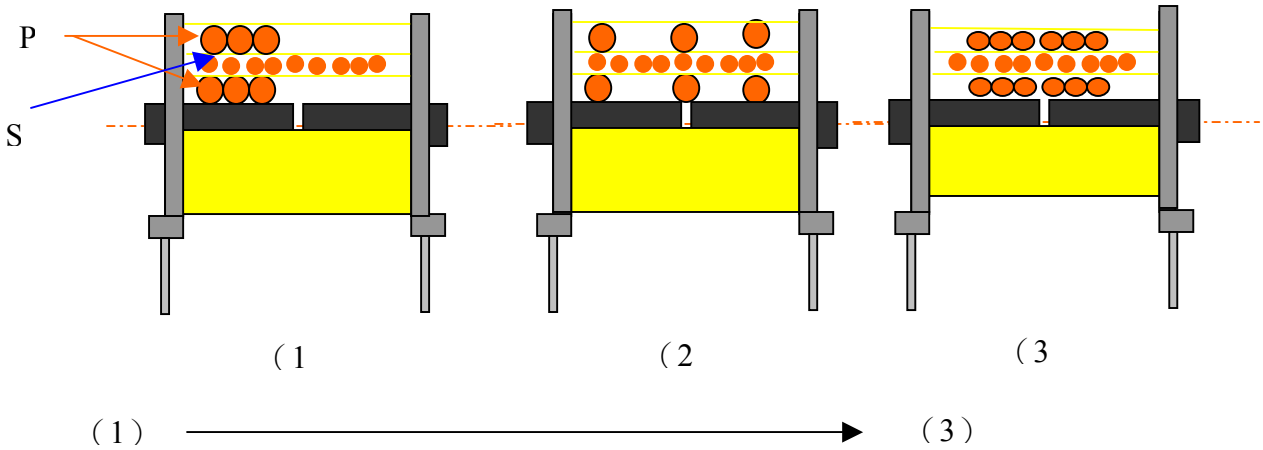
5): $N_2 = (V_{2min} * T_{onmax} / B_s * A_e) * 10^4 = (14.8 * 2.1 / 2000 * 87.4) * 10^4 = 1.83T \approx 2T$

6): $N_1 = N_2 / n = 2 / 0.148 = 13.5T \approx 14T$

$T_{onmax} = (V_o + V_L + V_F) * T / V_{2min} = 2.09$ $D_{max} = T_{onmax} / T = 2.09 / 5 = 0.418 \approx 0.42$

优化設計舉例

1) 繞線空間設計: 變壓器繞線空間設計得好, 使其耦合傳遞最佳, 發揮功率更佳, 干擾更小, 要求電流較大, 漏感較小. P&S 均可採用分層繞法.



例一, ETD44 AV 音響主功率變壓器

1-2	$\Phi 0.35$	X7	25T	1-2	<u>$\Phi 0.21$</u>	X10X2	25T
7-9	$\Phi 0.35$	X9	5T	7-9	$\Phi 0.35$	X9	5T
2-3	$\Phi 0.35$	X7	25T	2-3	<u>$\Phi 0.21$</u>	X10X2	25T

減小繞線高度, 對理線較合理.

(1) → (3)

例二, EI22 DVD 輔助變壓器

1-X	$\Phi 0.30$	8T	1-2	<u>$\Phi 0.25$</u>	16T
6-8-----			6-8-----		
6-9-----			6-9-----		
X-2	$\Phi 0.30$	8T	1-2	<u>$\Phi 0.25$</u>	16T

增強耦合性能, 採用並聯繞線, 合理安排接線工藝, 減小漏感.

(2) → (3)

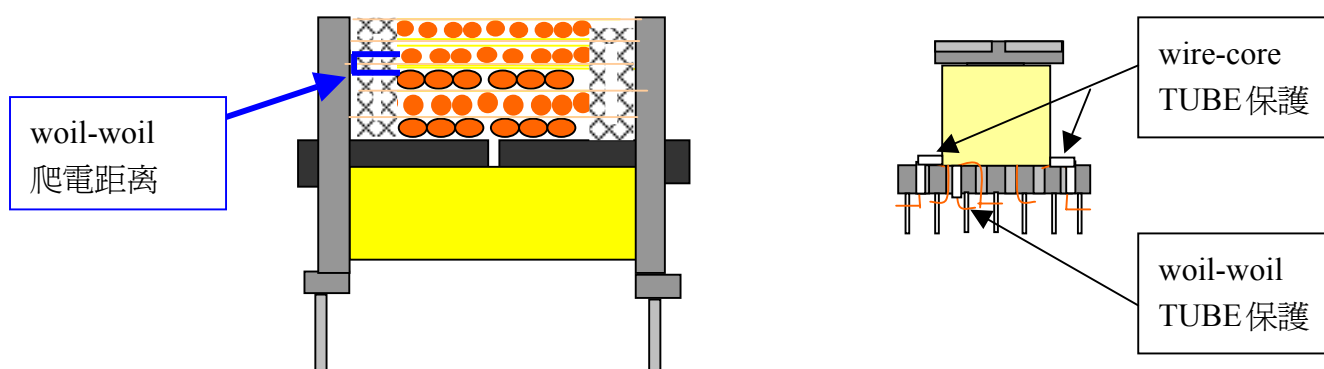
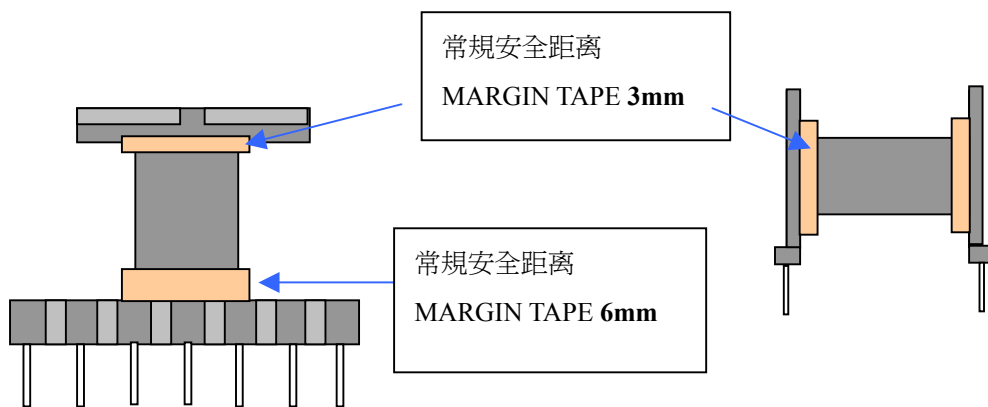
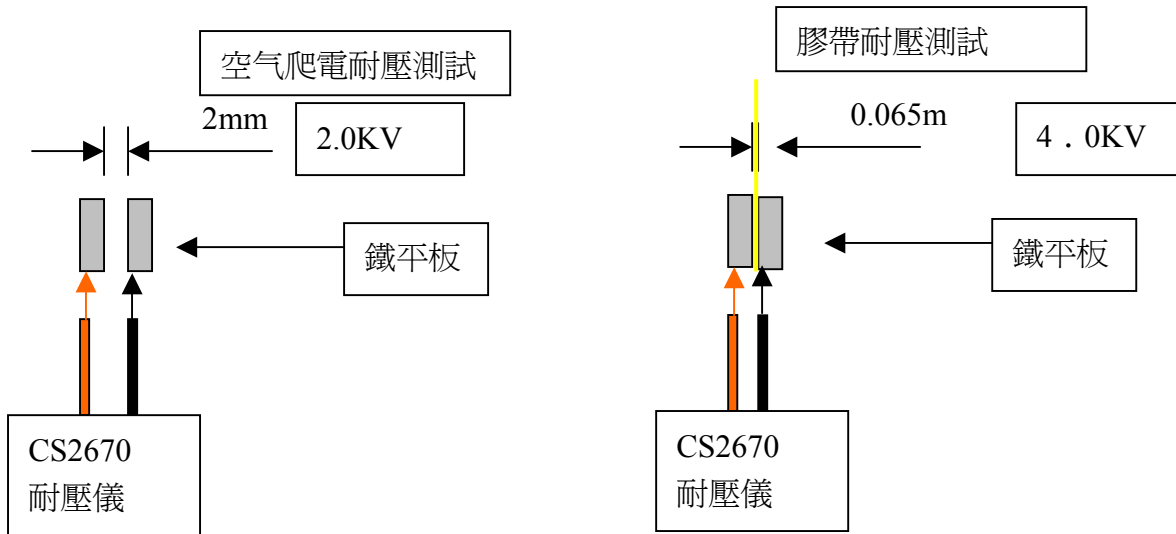
例三, EER28 DVD 主功率變壓器

3-4	$\Phi 0.40$	25T	3-4	$\Phi 0.40$	25T
17-15	$\Phi 0.40$ X2	4T	17-15	<u>$\Phi 0.40$X5</u>	4T
4-2	$\Phi 0.40$	25T	4-2	$\Phi 0.40$	25T
14-13-----			14-13-----		
2-1	$\Phi 0.40$	25T	2-1	$\Phi 0.40$	25T

2) 絕緣空間設計

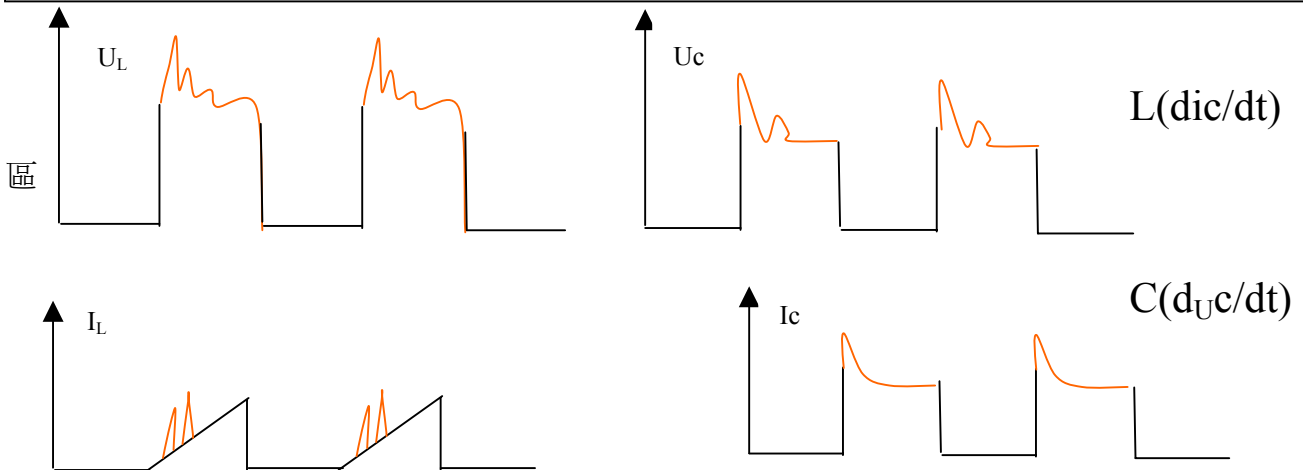
隨著變壓器的小形化，可以根據爬電距離來實現安全性能要求，設計產品的目的，主要滿足用戶要求，符合安全性能規定。

1. 干燥空气爬電耐壓距離: 經驗距離為 1mm /1000V .
2. TAPE (0.025/0.065) P-S 三層規定: 1層>4000V 延伸變形后>1500V .
3. S線圈-S線圈之間爬電耐壓距離: >1500V >1.5mm .
4. 邊緣膠帶 MARGINTAPE 爬電耐壓距離: 邊緣安膠 W=3mm 可根據 Vi 電壓 W1.5-2.mm .
5. 采用 TEX-E 線解決耐壓距離: 三重絕緣線 層>6000V 延伸變形后耐壓下降 .
6. 膠帶絕緣層解決耐壓距離: 膠帶村墊 SOL 一層 SPC 二層, 反貼膠帶等 .
7. 規格耐壓條件(3.0KV/60' 2mA) 制程條件 UL3.0KV *1.2 倍/2' 2mA .
8. 層間耐壓要求: 層間耐壓測試要求, 与 AN 有關 .



3) 開關變壓器的參數分析

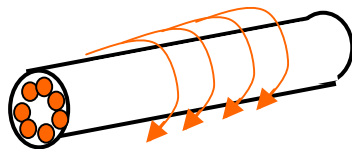
一，漏感 L_k ：當開關管達到高速開關時，（截止）由于變壓器的 L_k 存在，開關管兩端就會產生浪涌電壓。整機中可以採用(電壓鉗位電路)來控制。



二，分布電容 C_p ：當開關管（導通）由于開關寄生電容及變壓器 C_p 產生浪涌電流，流向開關產生很大噪聲。整機中可以採用(電流限制電路)來控制。

三，集膚效應：。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。

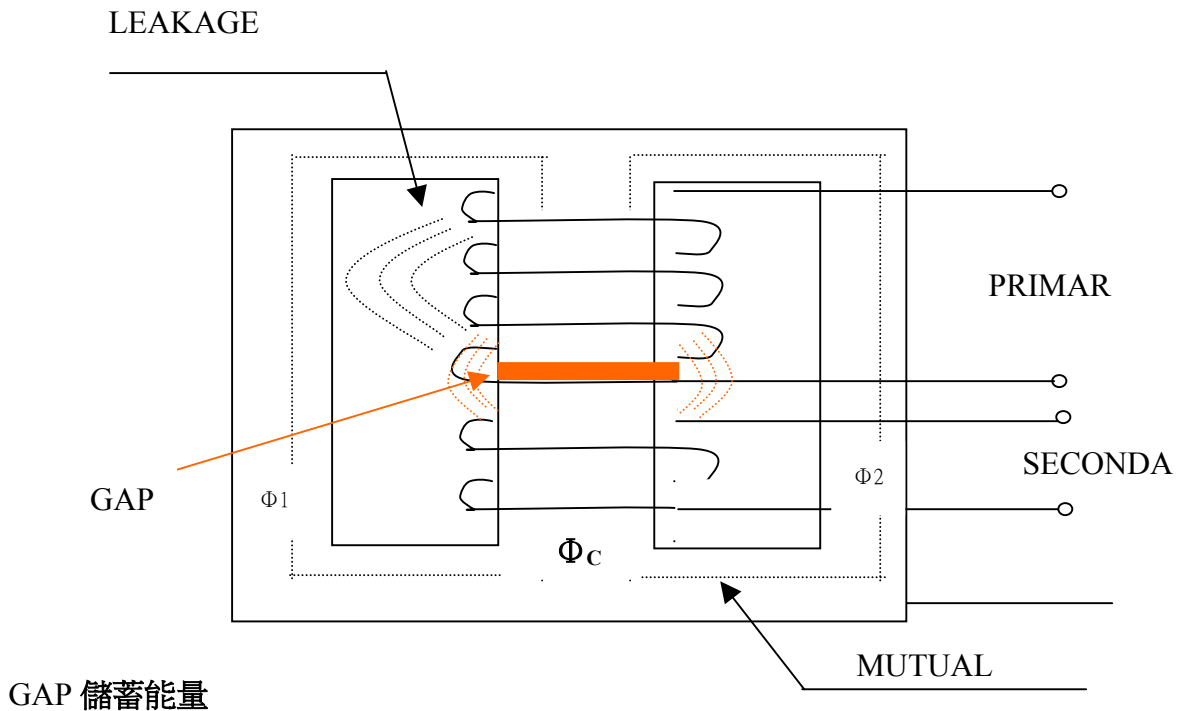
穿透深度 $\Delta = 6.61 / \sqrt{f} (\text{mm})$ 高頻 $> 100\text{KHZ}$ ，線經不超過穿透深度 Δ 的兩倍為好。
 例。 $\Delta = 0.09$ $0.09 * 2 = 0.18$ 選用 $0.10 - 0.17$



1. 關於集膚效應可選用多股線（滿足 $b > a$ $a = r^2 \pi$ $b = r^2 \pi * x$ $x = x$ 股線）滿足高頻負載電流，降低變壓器溫升。

2. 關於 L_k 与 C_p 是一對矛盾，一般要求變壓器平衡 L_k 与 C_p 參數， L_k 不要追求愈小愈好， C_p 的增加會引起噪聲的增加。

開關變壓器 GAP & L_K



$1 / 2 L I^2 = \Delta B * \Delta B / \mu_0 0.4 \pi * Ae I_g$				
儲能	磁感	磁場	體積	

GAP 氣隙長度

$$I_g = 0.4 \pi L I^2 / Ae * \Delta B$$

1. 氣隙 GAP 設計大小與所需要的傳遞能量有關，GAP 大氣隙長度增加也就是氣隙體積增加，電感下降。GAP 小容易引起電感飽和。
2. 氣隙 GAP 傳遞能量大小與使用的工作頻率有關，高頻時 (>60KHZ) 磁芯損耗加大。
3. LEAKAGE 漏感：初級繞組 P&S 次級主繞組相鄰緊密，耦合面積大，(P . S 夾繞) 漏感量小。S 次級主繞組如果匝數少，疏繞或者增加匝數，也可減小漏感量。