

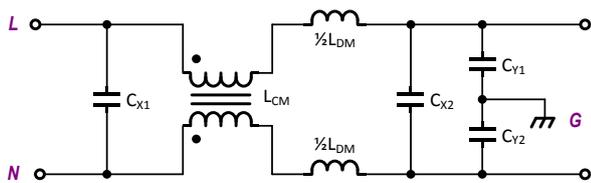
## 利用混成式共模電感抑制傳導電磁干擾 Conducted EMI Reduction by means of Hybrid Common Choke

### 摘要

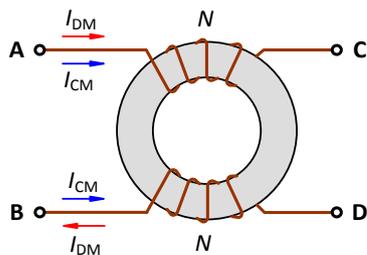
EMI 抑制方案有許多組合，包括濾波器組合、變壓器繞線安排，甚至 PCB 佈局。本文提供一種結合共模電感與差模電感的磁混成，稱之為混成式共模電感器。不僅保留共模電感的高阻抗特性，同時利用其很高漏電感當成差模電感用。不僅可以縮小體積節省濾波器成本，更提供了工程師快速解決傳導型 EMI 問題的方法。

### 一、混成式共模電感的原理與功能

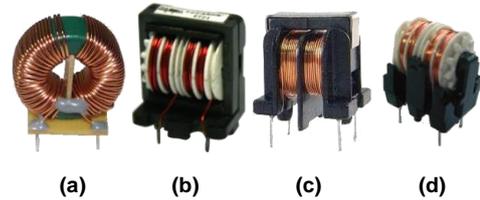
在常規單級 EMI 濾波器電路，如圖一，有共模雜訊濾波器 ( $L_{CM}$ 、 $C_{Y1}$  與  $C_{Y2}$ ) 與差模雜訊濾波器 ( $L_{DM}$ 、 $C_{X1}$  與  $C_{X2}$ ) 分別形成”LC 濾波器”衰減共模與差模雜訊。共模電感通常以高導磁錳鋅 (Mn-Zn) 鐵氧體 (Ferrite) 製成，電感值可達 1~50mH。共模電感器，如圖二，由於繞線極性安排，雖然兩組線圈分別流過負載電流，但鐵芯內部磁力線互相抵消，一般不存在鐵芯飽和的問題。常用的鐵芯有環型 (Toroidal)、UU 型 (UU-9.8、UU-10.5 等)、ET 型與 UT 型，如圖三。為了要獲得足夠的共模電感值，盡量讓兩組線圈的耦合達到最好，所以多採用施工成本較高的環型或一體成型的 ET 與 UT 鐵芯。



圖一、常規 EMI 濾波器結構

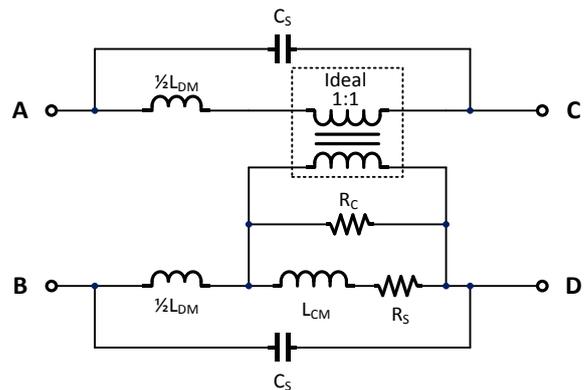


圖二、共模電感器



圖三、共模濾波器 (a)環型 (b)ET 型 (c)UU 型 (d)UT 型

從共模電感的工作原理與等效電路來看，如圖四所示，雙繞組的共模電感雖然有很好的耦合，但是還是存在漏電感，漏電感就是由漏磁通造成。這個漏電感在等效上串聯在電路上，功能上與差模電感無異。所以可以說，共模電感器的漏電感可以利用來做為差模濾波器。然而如圖三所示的共模電感器，由於機械結構的關係，其漏電感都很小，約莫在數  $\mu\text{H}$  到  $100\mu\text{H}$ 。如果要得到更大的漏電感，只有增加匝數一途，如此一來，線徑變細，電流耐受降低。要改善只有增加鐵芯大小，當然也增加了濾波器的體積與成本。許多要求極高共模電感的應用，其實不在濾除共模雜訊，而是要得到較大的漏電感當差模濾波器用，只是許多工程師不甚清楚罷了。



圖四、共模電感器的等效模型

為了增加共模電感的漏電感，特殊的鐵芯結構與繞線方法稱為混成式共模電感器 (Integrated Common-mode Choke) 或者稱混成共模電感器 (Hybrid Common-mode Choke)，如圖五所示。這樣的結構，不僅可以保留共模電感量以充分濾除共模雜訊外，其漏電感形成的差模電感可以高達數百  $\mu\text{H}$ ，配合適當的 X 電容，可以有效的濾除中低頻段 (150kHz~3MHz) 的差模雜

訊。實驗證明混成式共模電感器不僅具有很好的濾波特性，低成本與小體積更是最大的優點。

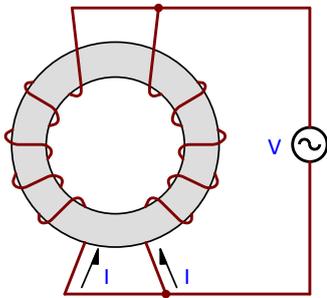


圖五、立式與臥式混成式共模電感器

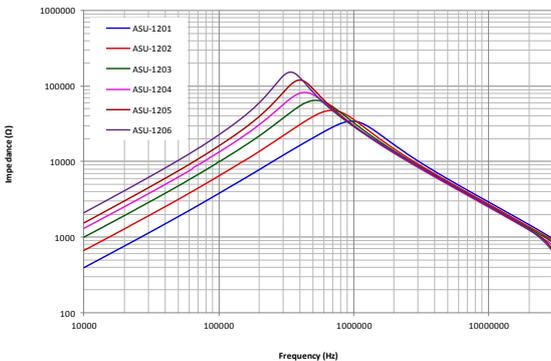
二、主要的電氣參數

混成式共模電感器保留了常規的共模電感器的規格外，還兼具差模電感的特性。一般除了用共模與差模電感量標示外，還要以下參數來規範。

(1) 共模阻抗 (Common-mode Impedance,  $Z_{CM}$ )：相較於電源阻抗穩定網路 (Line Impedance Stabilization Network, LISN) 的高頻等效電阻 (共模為  $25\Omega$ )，濾波用的共模阻抗越大越好。除了鐵芯材質外，繞線的方法(槽數)更影響高頻阻抗的高低。圖六為共模阻抗的量測法，圖七為 ASU-1200 系列共模阻抗特性圖。由於繞線的層間雜散電容 (Stray Capacitance,  $C_s$ ) 存在，高頻時將變為電容性； $C_s$  越小越好。



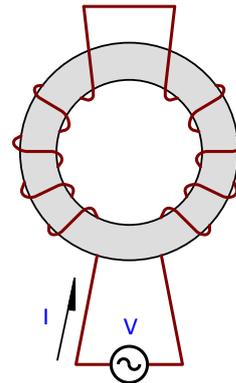
圖六、共模阻抗量測



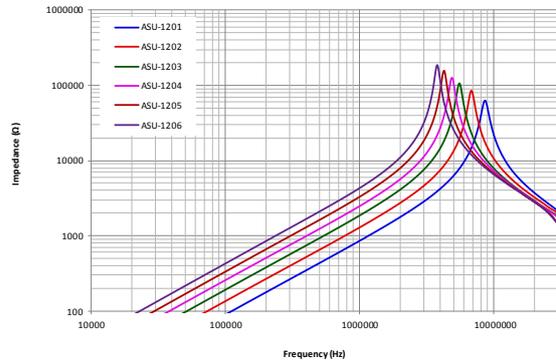
圖七、ASU-1200 系列共模阻抗特性圖

(2) 共模電感 (Common-mode Inductance,  $L_{CM}$ )：傳統上，習慣以外加測試電壓( $V_{osc}$ )與頻率來規範共模電感。依鐵芯材料特色，共模電感以  $V_{osc} = 1Vac @ 100kHz$  量測較為穩定。

(3) 差模阻抗 (Differential-mode Impedance,  $Z_{DM}$ )：同樣的，量測等效差模阻抗的方法如圖八所示，用差模阻抗特性圖 (如圖九)來定義差模濾波的效能；相較於 LISN 的等效電阻  $100\Omega$ ，差模阻抗也是越大越好。當然高頻時一樣會變成電容性，但只要阻抗夠大，一樣有濾波的效果。



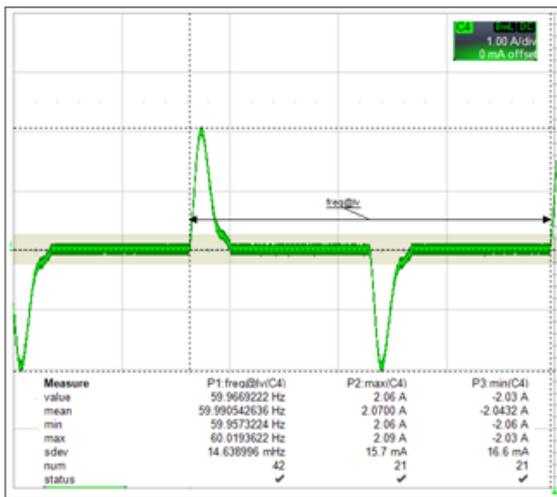
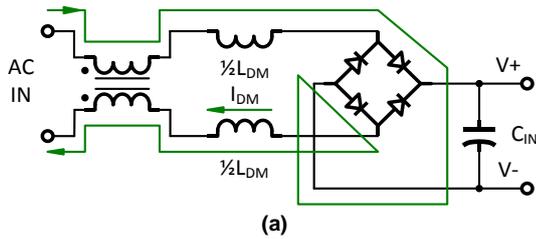
圖八、差模阻抗量測



圖九、ASU-1200 系列差模阻抗特性圖

(4) 差模電感 (Differential-mode Inductance,  $L_{DM}$ )：差模電感一樣可以  $V_{osc} = 1Vac @ 100kHz$  來規範。在實用上，混成式差模電感量必須  $100\mu H$  以上，配合 X 電容，才能有效的濾除差模雜訊。

(5) 差模飽和電流 ( $I_{sat}$ )：如前所述，因為等效差模電感必須流過負載電流，在負載電流的峰值下，差模電感不能飽和，否則其濾雜訊的能力將降低。圖十為一般橋整濾波電路的輸入電流波形。必須確保在最大電流峰值下，差模電感量沒有因飽和而下降。傳統上，以電感值衰減 20% (相對於沒有直流偏置) 為其差模飽和電流。



圖十、(a) 全橋濾波電路 (b) 輸入電流波形

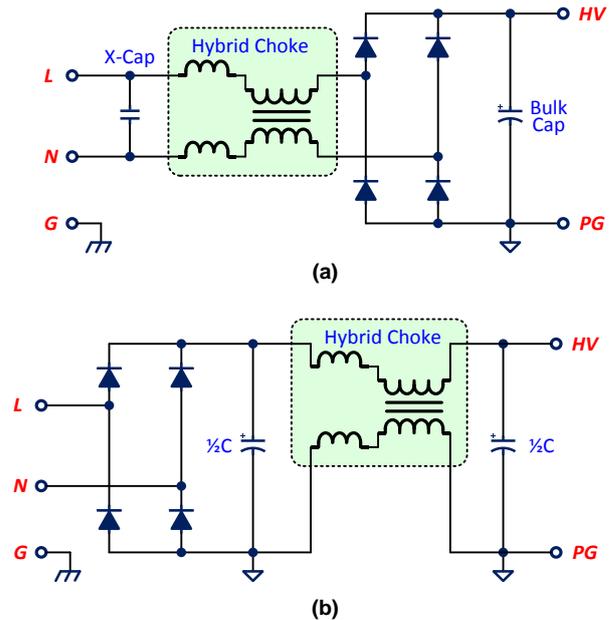
(6) 有效承受電流 ( $I_{rms}$ ): 等效上就是規範線徑粗細。雖然如圖十的輸入電流波形, 但其有效值並不高, 一般可以兩倍的輸出功率除以最低輸入電壓估計。例如全電壓範圍 25W 的電源適配器, 輸入電流的有效值約為  $2 \cdot 25W / 90Vac = 0.55A$ 。

表一 為 ASU-1200 系列的電氣參數表

	$L_{CM}(mH)$ ±20%	$L_{DM}(\mu H)$ ±10%	$I_{sat}(A)$	$I_{rms}(A)$
ASU-1201	4.0	143	3.2	1.00
ASU-1202	6.0	220	2.9	0.80
ASU-1203	9.0	310	2.4	0.75
ASU-1204	12.0	410	2.2	0.75
ASU-1205	16.0	530	1.9	0.60
ASU-1206	20.0	670	1.8	0.55

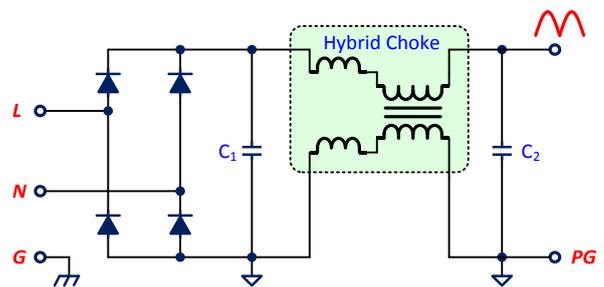
### 三、應用電路

混成式共模電感器簡單說就是一個傳統共模電感與一個 (或兩個) 差模電感的混成。在應用上, EMI 工程師必須選定需要的共模電感、差模電感以及相關的差模飽和電流與承受電流。ASU-1200 系列混成式共模電感適合應用在 25W 到 50W 的 Flyback 電路或 120W 以下 PFC 電路。圖十一為兩種應用混成式共模電感器的 Flyback 電路。



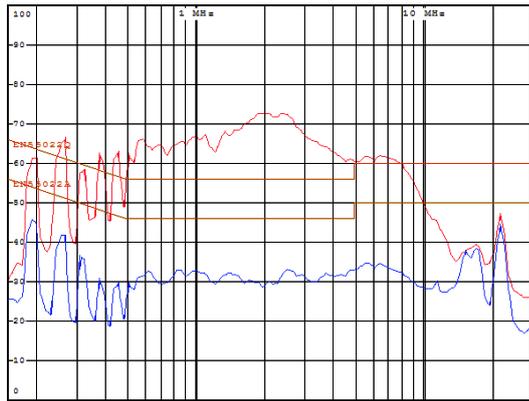
圖十一、兩種應用混成式共模電感器的 Flyback 電路 (a) 常規位置搭配 X 電容 (b) 置於橋整後與電解電容形成 PI 型濾波器

圖十二為應用在邊界導通模式 (Boundary Conduction Mode) 主動功因改善 (PFC) 電路的濾波器。

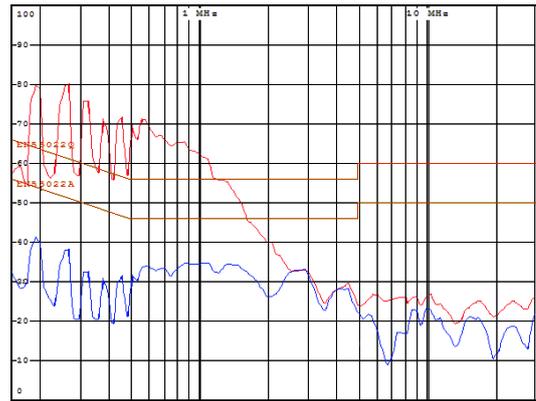


圖十二、應用於 PFC 電路的混成共模電感器

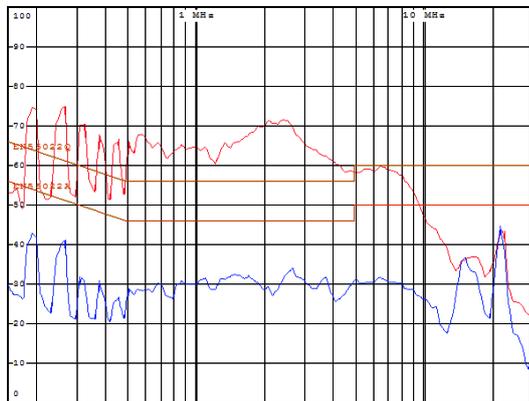
圖十三到圖十五為應用 ASU-1203 混成式共模電感器在一個 24W (12V/2A) 的離線 Flyback 電源中 EMI 的表現。明顯地可以看出這種共模電感不只有效的衰減共模雜訊, 同時其差模電感也大量的衰減差模雜訊。整體而言, 裝有 ASU-1203 的 EMI 表現, 在中低頻段約略有 30dB 的衰減。



圖十三、共模雜訊衰減 (藍色曲線為裝有 ASU-1203 的共模雜訊量測圖)



圖十四、差模雜訊衰減 (藍色曲線為裝有 ASU-1203 的差模雜訊量測圖)



圖十五、總雜訊衰減 (藍色曲線為裝有 ASU-1203 的總雜訊量測圖)

## Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1<sup>st</sup> Street, Chupei City  
Hsinchu, Taiwan, R.O.C.  
Tel: (8863)5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.