

環境干擾日益嚴重

# USB 2.0濾波不可輕忽

◆ Jonathan Harris

當今電子產品的操作環境中，EMI及RFI源頭不計其數，特別是無線通訊技術應用日益普及，RFI的問題也益發嚴重。雖然差動介面技術先天對於EMI/RFI等干擾有較佳的抵抗力，但由於干擾的情況日益嚴重，這類的介面也應進行共模濾波，以確保訊號完整性。

**高**速通用序列匯流排(Highspeed USB，或稱USB 2.0)是最普及的差動數據介面之一。由於差動訊號先天對雜訊干擾有較佳的抵抗力，因此許多工程師均認對USB 2.0介面的濾波設計過於輕忽。然而，隨著無線通訊技術的應用日廣，以及越來越多手機開始內建USB 2.0介面，這樣的想法應作適度修正。

本文將論證在高速USB 2.0應用中，應採用共模濾波器來抑制電磁干擾(EMI)與射頻干擾(RFI)雜訊之必

要性及優勢，並將探討如何保護介面免受靜電放電(ESD)影響。常見的干擾源包括ESD、雷電、交換式電源如直流對直流(DC-DC)轉換器，以及無線裝置，如行動電話、無線路由器、遊戲機及迷你筆電，其中最常見的干擾源則來為工作頻率在800M~3GHz間的無線通訊裝置。但隨著技術進步，這個區間已經放大到700M~6GHz。

所有射頻來源均會造成大量環境干擾，不僅導致通訊技術間互相干擾，而且還會損及其他裝置的操作。



本文重點探討應用於行動電話等可攜式裝置的USB 2.0，以及EMI/RFI干擾如無適當的濾波會滋生出哪些訊號完整性問題。

## 共模訊號濾波器設計因地制宜

在USB 2.0介面中，數據以480Mbit/s的速率藉兩條纜線差動傳送。這種訊號並未接地參考，而是兩個訊號彼此參考，其相位差定為180度。這兩條線路通常標示為D+和D-，表示訊號的相位屬性。這種訊號特性表示設計人員必須使用適宜的濾波器拓撲結構，去濾除任何不需要的訊號，同時不降低差動訊號的訊號完整性。

在USB 2.0應用中，單端濾波器拓撲結構並不足夠，設計人員必須使用諸如共模扼流線圈的差動拓撲結構。這類濾波器允許通訊所需的差動訊號通過，而不影響訊號完整性，同時濾除由EMI和RFI滋生的共模訊號。共模濾波器的電感型屬性為差動訊號造就了高達3或4GHz的寬通帶(Pass Band)，而同時也為共模訊號造成低於100MHz的窄通帶。

其次，設計人員必須估算所需的必要通帶，讓訊號能良好完整地通過。以頻寬480Mbit/s的訊號而言，能夠產生的最大基礎頻率來自以交替方式傳輸1和0，因此最大基礎頻率為240MHz頻率。而由於訊號本身為方波形式，可藉傅立葉級數逼近方法(Fourier Series Approximation)，粗略地將基礎頻率乘以三倍，得出訊號通過所必要頻寬，就可得到USB 2.0的必要通帶頻寬最低為720MHz。

估算出必要通帶頻寬後，工程人員必須接著確定充分消除不必要共模訊號所需的衰減量。衰減量通常取決於應用，但一般而言，衰減愈多愈好。

## 共模雜訊影響重大

為了解訊號頻寬的要求，應界定訊號完整性的衡量方法，一般作法是衡量訊號的眼圖(Eye Diagram)，以此確認接收到的訊號的品質。眼圖顯示訊號在不同狀態

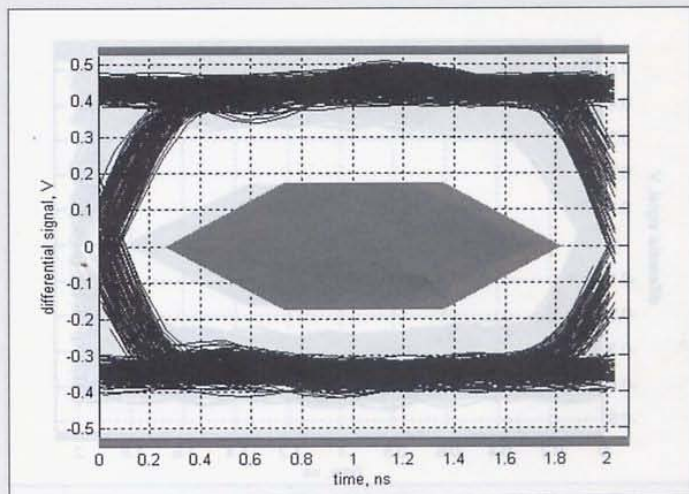


圖1 典型的USB 2.0訊號眼圖(含遮罩模板)

之間轉變，表明接收器接收(Interpret)中的數據訊號品質有多好。通常，高速數據傳輸介面的設計是否能過關，眼圖上的訊號是否會碰觸到特定遮罩(Mask)或模板(Template)區域，是最主要的判斷標準。如圖1中典型USB 2.0眼圖，若訊號碰觸到上下緣的界線區域與中央六角型區域，這個設計就無法通過考驗。

如果USB 2.0的訊號發射器所輸出的訊號品質如圖1，接收器便可非常輕鬆地接收到該訊號，因為訊號完全在眼圖遮罩範圍之內。然而，若在此訊號上添加共模雜訊訊號，情況就不一定如此樂觀。為了模擬典型行動電話操作所帶來的雜訊，筆者添加頻率900MHz，峰值幅度為75毫伏特(mV)的少量共模雜訊。本實驗結果如圖2，當共模雜訊出現時，原本非常乾淨的眼圖就變得相當糟糕，甚至有部分訊號超出遮罩範圍。

在圖2中，因為雜訊使得USB 2.0的訊號超出了遮罩的整個上緣界限，訊號轉換品質下降，並更接近遮罩區域。在這種情況下，接收器將無法接收到正確的數據，因為訊號上的雜訊太多，導致接收器無法在這些情況下有效地區分0與1的狀態。事實上，筆者所添加的雜訊非常輕微，其振幅僅為USB 2.0訊號的5%，但光是如此就可以讓USB 2.0的訊號收發失效了。



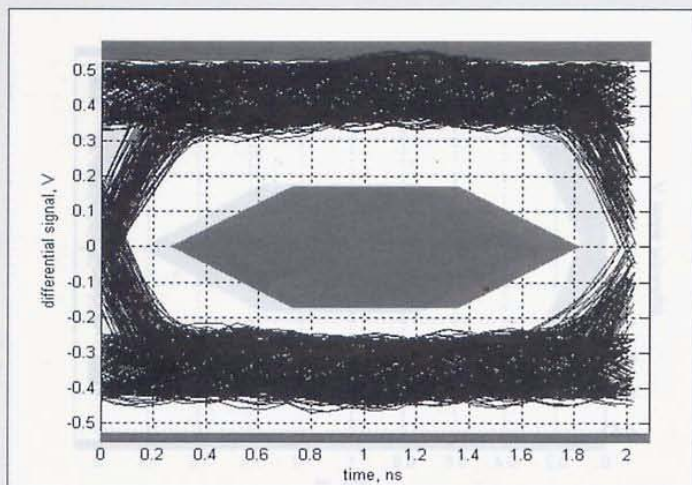


圖2 加入輕微共模雜訊的USB 2.0訊號眼圖

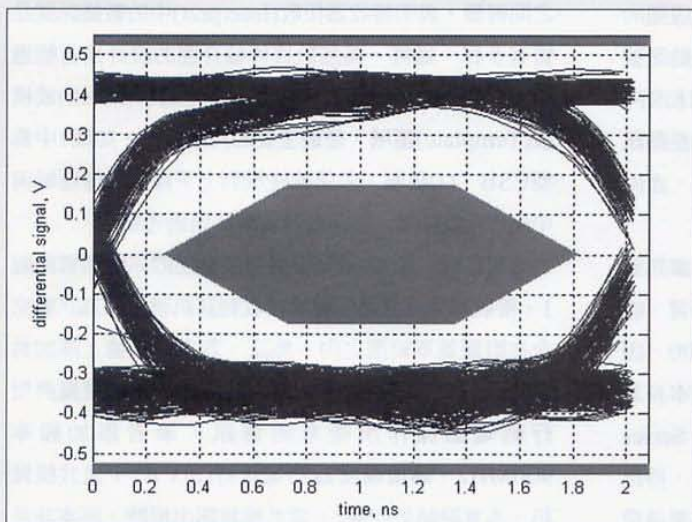


圖3 濾除了共模雜訊的USB 2.0訊號眼圖

### 導入整合式ESD元件 USB 2.0設計輕鬆過關

從圖2可以看出，濾除EMI/RFI雜訊是USB 2.0收發器設計能否過關的重要因素，但除了濾除雜訊外，USB 2.0介面還必須導入靜電防護元件，以保護敏感內部電路免受可能有害甚至是毀滅性損害的ESD事件的影響。

然而，若設計人員選用了不恰當ESD元件，同樣會對訊號眼圖造成不利影響。由於USB 2.0已是非常普及的介面，因此已有些元件供應商開發出整合低電容ESD保護功能的共模濾波器方案。這類整合性方案可以用極為精巧的空間提供必要的靜電防護與共模訊號濾波。圖3為USB 2.0訊號加入安森美(On Semiconductor)所提供的NUC2401後所得到的訊號眼圖，此整合式ESD元件內建的濾波器提供USB 2.0訊號必要的頻寬、恰當的共模衰減，同時也為敏感的內部電路提供ESD保護。此整合ESD保護的電容極低，小於1皮法(pF)，因此在設計中加入該元件，不會對USB 2.0訊號。

事實上，在圖3這個實驗中，筆者所引入的共模雜訊振幅遠比圖2的實驗來得更為大，達400毫伏特，比圖2的雜訊振幅還要高出五倍。但即便引入大量共模雜訊，該USB 2.0介面設計的訊號也沒有超出眼圖遮罩界線，保持了訊號的完整性。

### 差動介面仍須適當濾波保護

在大量干擾源頭導致的眾多干擾環境中，濾波極為重要。差動介面雖然本質上可以將某些共模雜訊的影響減至最輕，但如本文所做的實驗所示，對差動介面的共模雜訊抵抗性能，仍不應有太樂觀的預期，否則仍會出現訊號完整性的問題。

此外，在USB這類裝置進入點(Entry Point)，除了濾波之外，還得考慮靜電所帶來的風險，因此設計人員必須將ESD所造成的眼圖品質下降也列入考量。事實上，設計不良的ESD，往往也是拖累介面設計的元兇之一。對設計人員而言，採用整合了共模濾波器的整合式ESD防護元件，是最輕鬆理想的選擇。

(本文作者任職於安森美)