

Mathcad 的訊號完整性應用實例 — 第 1 部分

Mathcad 等數學工具可以廣泛解決各種 SI 問題。



**ABE (ABBAS)
RIAZI 博士**

MATHCAD 軟體內建強大的方程式、數值、文字和圖形操控功能，並以簡單易懂的方式表示數學公式和數值。Mathcad 能夠輕鬆地將圖形和文字整合到文件中，還能將結果檔案儲存成 HTML 格式並發佈到網站上。

Mathcad 被廣泛應用於各種工程設計領域，其價值不言可喻，此外，亦可見於部分有趣的訊號完整性應用實例中^{1,2,3}。比方說，Johnson et al^{1,4} 使用 Mathcad 計算直流電銅線的電阻、平行板的電容、圓形電路 / 同軸電纜 / 微帶線電感的電感以及正向和逆向的傅立葉轉換 (即 FFT 和 IFFT)。Brooks 曾討論使用這套軟體執行傅立葉轉換與方波分解²；另外，Norte 亦曾說明應用 Mathcad 模擬單端和差分對高速拓樸³。

為舉例說明，我現在使用 Mathcad 分析非對稱帶線組態，如圖 1。非對稱帶線又稱為平移帶線，這種組態的訊號層夾在兩個平面層之間，但較靠近其中一個平面層 (即 H1 不等於 H)。設定 H1=H 則會使帶線置中 (或平均分佈)。

圖 2 列出電阻特性 Z0 和傳輸延遲 (Tpd) 的 Mathcad 算式。參數 Er、H、H1 和 W 的定義列於圖 2 上方。Z0 和 Tpd 的公式分別為 EQUATIONS 1 和 2。

如圖所示，若 Er = 4.2、H = 5 密爾 (mil)、H1 = 8 密爾、W = 6 密爾且 T = 0.7 密爾，則 Z0 = 43.06 歐姆 (Ohm)，Tpd = 2.084 毫秒英尺 (ns/ft)。Mathcad 檔案中的參數值都可以輕鬆地轉換，以便檢驗所有變數的結果和相對應的圖形。比方說，若設定 Er = 4.0、H = 6 密爾、H1 = 10 密爾、W = 5 密爾、T = 1.4，則 Z0 為 52.7 歐姆，而 Tpd 為 2.034 毫秒英尺。

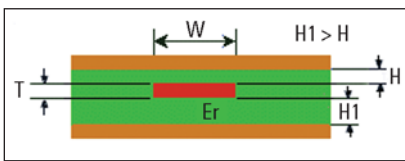


圖 1. 非對稱帶線幾何。

$$Er := 4.2 \quad H := 5 \quad H1 := 8 \quad W := 6 \quad T := 0.7$$

$$Z0 := \left(\frac{80}{\sqrt{Er}} \right) \cdot \left[1n \left[1.9 \cdot \frac{(2 \cdot H + T)}{(0.8 \cdot W + T)} \right] \right] \cdot \left(1 - \frac{H}{4 \cdot H1} \right) \quad \text{EQ. 1}$$

$$Tpd := 1.017 \sqrt{Er} \quad \text{EQ. 2}$$

H、H1、W 和 T 的單位是密爾 (mil)，Z0 是歐姆 (Ohm)，而 Tpd 是毫秒/英尺 (ns/ft)

Z0 = 43.06 歐姆 Tpd = 2.084 毫秒/英尺

圖 2. 使用 Mathcad 計算平移帶線的 Z0 和 Tpd。

使用場解計算電阻雖然比較精確⁵，不過，使用分析方法計算 Z0 卻是極有效率的方式，可以讓我們深入瞭解各種變數對電阻的影響。

Mathcad 可以將文字、公式、圖片、方程式和圖形整合到文件中，接下來，我們就以電感為例說明這項功能。

每個導孔都有離散電容和電感。對數位設計來說，導孔電感通常比導孔電容重要。導孔的離散電感會減損訊號完整性⁶並降低電容器的供電效率¹。導孔電感也是分析配電系統 (PDN) 的要素，因為它會增加來源和負載之間的電阻⁷。

以下舉例說明使用 Mathcad 計算導孔 (部分) 電感：

圖 3 中的方程式 L(h) 是獨立導孔 (與其他導孔分開) 的精準運算式。

如果周圍有其他導孔，計算時則需考慮互感效應⁷。

一般而言，Mathcad 會依序評估程式中的每個語法⁸；不過，您也可以限定評估條件，使用 if 語法就能達到這個效果。

比方說，您可以使用 Mathcad 的這項功能評估 SAS 通道的插入耗損公式⁹。傳輸線路耗損會影響高速訊號的振幅並造成失真 (ISI)^{5,10}，因此，設計或測試高速通道時，務必考慮耗損規格。

比方說，PCI Express Gen1 的預估耗損設定為 13.2 分貝 (dB)，頻率為 1.25 千兆赫 (GHz)。

SAS 標準的插入耗損量 (SDD21) 是以一組方程式指定，且可用 Mathcad 分析，如圖 4。

前述範例說明 Mathcad 在分析及求解訊號完整性方面的強大功能。其它訊號完整性的數學應用，將在本文的第 2 說明。PCD&F

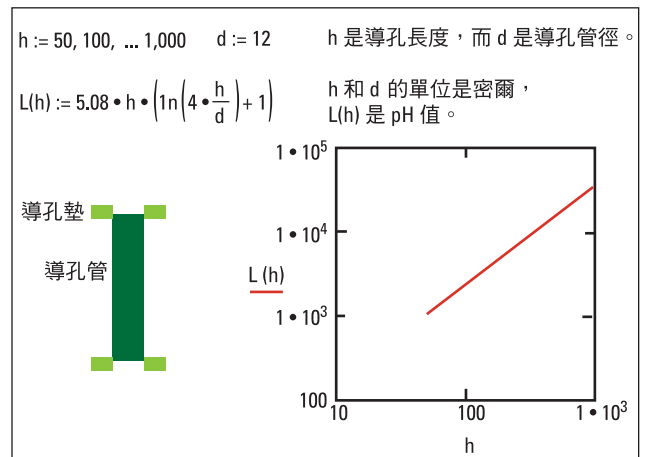


圖 3. 應用 Mathcad 計算導孔電感。

ABE (ABBAS) RIAZI 博士為美國加州爾灣市 Broadcom Corp. 電子設計部的資深研究員，個人電子郵件信箱為：
ariazi@broadcom.com。

參考書目

1. Howard Johnson and Martin Graham, "High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic", Prentice Hall, 1993, PP. 258-260, PP. 409-439.
2. Douglas Brooks, "Signal Integrity Issues and Printed Circuit Board Design", Prentice Hall, 2003, PP. 18-21.
3. David Norte, "Learn Signal Integrity Design Principles With Mathcad", The EMC, Signal and Power Integrity Institute, 2005, PP. 5-29, PP. 41-48.
4. Howard Johnson and Martin Graham, "High-Speed Signal Propagation: Advanced Black Magic", Prentice Hall, 2003, PP. 249-250.
5. Eric Bogatin, "Signal-Integrity Simplified" Prentice Hall, 2004, P. 257-262, PP. 334-335.
6. Stephen H. Hall, Garrett W. Hall, James A. McCall, "High-Speed Digital System Design A Handbook of Interconnect Theory and Design Practices", John Wiley & Sons Inc., 2000, PP. 102-104.
7. Istvan Novak and Jason R. Miller, "Frequency Domain Characterization of Power Distribution Networks", Artech House Inc., 2007, PP. 43-54.
8. "Mathcad 2001 User's Guide", Math Soft Inc. 2001, P. 286
9. "Information technology – Serial Attached SCSI – 1.1 (SAS-1.1)", Working Draft American National Standard, Project T10/1601-D, Revision 10, September 21, 2005, PP. 136-146.
10. Abe Riazi, "Timing Analysis Techniques for Digital PCBs," *Printed Circuit Design & Fab*, February 2008, PP. 17-19.

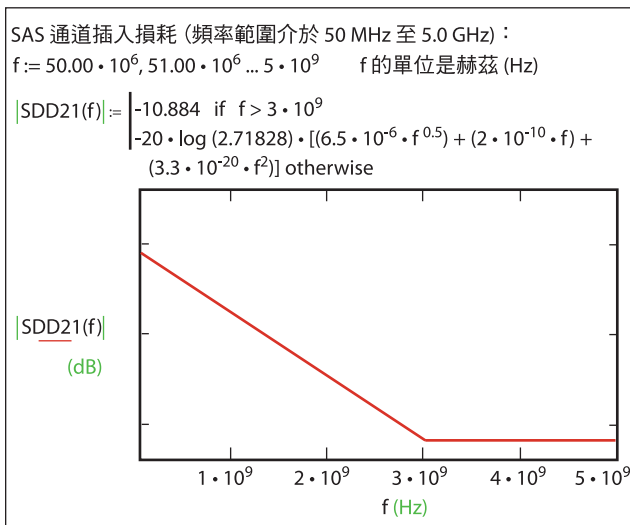


圖 4. SAS (3.0 Gb/s) 標準的 SDD21 分貝數計算。