

高頻連接器電磁與結構分析設計

江毅成¹、林鈺雄²

¹ 中國文化大學機械工程學系教授

² 中國文化大學機械系數位機電碩士班研究生

摘要

傳統電子連接器的設計主要方向為端子的插入力、拔出力、保持力等機械結構。為了達至機械結構的要求，通常會在端子的外型、折彎角度、材料厚度、寬度進行設計變更。

但高頻電子連接器不僅於扮演銜接的零件而已，還必須能快速且大量的傳遞數位訊號，其設計除符合機械結構之需求外，還必須滿足高頻之電性要求。

本研究將運用高頻電磁模擬與 Abaqus 有限元素結構分析軟體進行電子連接器結構與高頻電磁耦合分析及最佳化設計，交叉模擬探討電子連接器端子機械結構與高頻電磁特性之間的敏感性，及如何在限定的尺寸架構下設計出最佳化的高頻電子連接器。

關鍵字：連接器、高頻電磁耦合

ABSTRACT

The traditional electronic connector design is focused on the pin insertion force, pull-out force and retention force etc. mechanical structural performance. In order to achieve the mechanical structural requirements, it is usually to undertake design changes on the pin's exterior, bend angle, material thickness, width etc.

Regarding the high-frequency electronic connectors, they are not only to serve as the connecting parts but also to deliver a large amount of digital signals quickly. Therefore, the design of high-frequency electronic connector needs to comply with both the mechanical structural requirements and the high frequency of electrical requirements.

This study will use the high-frequency electromagnetic simulation and the Abaqus FEA structural analysis to undertake structural and electromagnetic coupled analysis and optimization for high frequency connectors. In addition, the cross simulation will be conducted to investigate sensitivity between mechanical structure and high-frequency electromagnetic to design and optimize high-frequency electronic connectors under the size limitation.

Keywords: Connector, High-Frequency Electromagnetic Analysis

一、緒論

一般電子連接器技術主要著重於端子的機械結構設計，隨著科技的發展，數位訊號的傳遞邁向高速、高頻化，但實際上數位訊號會經由電子連接器的傳遞有所損耗，如何使損耗降至最低，使數位訊號具最佳的完整性傳遞，是高頻電子連接器開發的重要課

題之一。高頻電子連接器的產品開發是項困難且艱鉅的技術門檻，機械結構設計與高頻電磁電性分析是兩門不同的專業領域，如何在工程設計上取得最佳平衡點是項挑戰。因此藉由本研究所衍生之技術，希望可縮短業界在開發高頻電子連接器的時程，及提升國

內高頻訊號完整性分析與設計相關領域之競爭力並與世界技術接軌。

二、基礎理論

無負載的傳輸線(圖1)由柯希荷夫電壓(KVL)及電流定律(KCL)可得特性阻抗 Z_0 (Characteristic Impedance)：

$$Z_0 = \frac{R+j\omega L}{\gamma} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad (1)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2)$$

其中 γ =複傳播常數(complex propagation constant)、 α =衰減常數(attenuation constant)、 β =相位常數(phase constant)、 R =電阻(Ω/m)、 L =電感(H/m)、 G =電導(S/m)、 C =電容(F/m)。

在無損傳輸線接上終端 Z_L 負載(圖2)，傳輸線上的總電壓與總電流可寫成入射波與反射波的和，負載上的總電壓與總電流的關係為：

$$Z_L = \frac{V(0)}{I(0)} = Z_0 \frac{V_0^+ + V_0^-}{V_0^+ - V_0^-} \quad (3)$$

其中 Z_L =負載阻抗、 $V(0)$ =負載總電壓、 $I(0)$ =負載總電流、 V_0^+ =入射電壓波、 V_0^- =反射電壓波。

反射電壓波振幅與入射電壓波振幅的比值，稱為反射係數 Γ (reflection coefficient)：

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4)$$

當傳輸線的負載沒有完全匹配時，負載端無法接收到從信號源送出的全部功率。訊號傳遞時損失的部分稱為反射損失(Return Loss, RL)，其定義為： $RL = -20 \log |\Gamma|$ (dB)。若負載與傳輸線匹配 $Z_L = Z_0$ ，反射係數則為零。

由以上基本傳輸線理論可知阻抗對於訊號傳遞的重要性，當高頻訊號經由電子連接器傳遞，無法達到阻抗匹配，訊號將會有所損耗。因此本研究目的於如何降低電子連接器

的高頻阻抗變動幅度之設計，並使電子連接器仍具備機械結構性能。

三、研究方法與內容

本研究使用Abaqus有限元素結構分析及高頻電磁模擬分析兩套電腦輔助分析軟體，求得高頻電子連接器最佳化產品設計，並經由本研究可驗證分析數據與實驗量測之間差異，建立適切的分析方法及高頻產品設計魚骨圖(圖3)，並依據分析結果狀況設計變更產品模型，達最佳高頻電子連接器設計。

3.1. 模擬產品說明

本案研究的產品規格架構如(圖4)所示，運用電腦輔助分析軟體分析高頻電子連接器訊號端子(圖5)之機械結構插入力及拔出力與高頻電磁模擬分析。本研究之高頻電子連接器產品為慶良電子協助提供研究。

3.2. Abaqus有限元素分析

應用Abaqus有限元素結構分析軟體，模擬分析此產品連接器端子受PCB板卡插入及拔出狀況，求得端子受PCB板卡干涉而變形之應力分布及最大應力值、力量位移圖，並可得知最大插入力、拔出力之值。

(a) 模型的簡化與剪裁：

如何用最短的分析時間得到最正確的分析結果，與如何裁切出主要的分析模型及模型的簡化有絕對的關係，把非重要性的模型特徵拿除，可直接減少網格數，減少運算時間。

(b) 邊界條件與負載：

設定與實際狀況相符之邊界條件限制；固定端子的尾端，將實際尺寸PCB板卡插入。(圖6)

(c) 分析結果：

由PCB板卡插入端子時，最大應力為682.8 MPa(圖7)，並由力量位移圖可得一對端子最大插入力為0.762 N(圖8)。此高頻電子連接器總共有85對端子，故本產品的最大插入力為0.762 N乘以85等於64.77 N。

PCB板卡拔出端子時，最大應力為712.2 MPa(圖9)，由力量位移圖可得一組端子最大拔出力為0.296 N(圖10)。同理，可得本產品的分析結果最大拔出力為0.296 N乘以85等於25.16 N。(表1)

3.3. 高頻電磁模擬分析

應用電磁模擬軟體分析本案研究的產品在高頻率下的表現。阻抗分析結果呈現W形趨勢狀況(圖11)，意指此連接器產品有兩個低點阻抗及一個高點阻抗值，最大阻抗分析數據為108.78Ω，最小阻抗分析數據為87.64Ω。

四、實驗量測方法與結果

經Abaqus有限元素結構分析與高頻電磁模擬兩套電腦輔助模擬軟體分析後，慶良電子協助本案研究進行實驗量測。使用插拔試驗機量測產品端子機械結構的插拔力，並量測出力量位移圖(圖12)，及截取最大插入力及最大拔出力數據(表2)，得實測最大插入力平均值為59.1 N、最大拔出力平均值為22.26 N。

高頻電磁阻抗量測使用時域反射儀TDR量測，量測高頻電磁阻抗最大值為108.78 Ω、最小值為88.56Ω(圖13)。

五、結論與未來展望

藉由本研究建立高頻電磁模擬與機械結構的分析方法，並經實驗量測驗證分析數據是否為合理(表3)(圖14)。在完整的分析方法架構下，設計出最佳化高頻電子連接器(圖15)。應用模擬不同的參數，並判讀分析數據，提供產品工程師或從事工程設計之人員更容易設計出最佳化產品。經由高頻電磁模擬分析，可看出電子連接器傳遞數位訊號時的電磁場分佈(圖16)，得以了解端子外型結構與電磁場是有密切的關聯性，因此在設計高頻電子連接器端子結構時，必須加入高頻電磁效應之考量。

六、參考文獻

- [1] 鈴木茂夫，高頻技術入門。建興文化出版社/2004年。
- [2] 長谷川弘，類比/數位高頻電路與實裝

設計的關鍵技術。建興文化出版社/2008年7月。

- [3] 蔡智明，曾理彬，高頻結構之電磁模擬與電路模型及其應用。成功大學電腦與通信工程研究所/碩士論文/93年
- [4] 李永春，馮輝舜，高頻電子連接器之電磁模擬與特性量測。國立成功大學機械工程學系/碩士論文/91年。
- [5] 廖斌毅，曾俊傑，吳憲鋒，PRO-E 高速電子連接器設計及SPICELINK模擬。國立高雄應用科技大學電子與資訊工程研究所/碩士論文/96年。
- [6] 黃啟芳，彭美瑾，HDMI 接頭之特性分析。大同大學通訊工程研究所/碩士論文/96年。
- [7] Alan M.Lyons, Andrew J.Becker, Youngmin Lee, Carsten Metz, Shih-En Shih, Connector Interconnections to Transmission Lines For 40Gb/s Broadband Applications。2002 Electronic Components and Technology Conference Paper。
- [8] 李明山、詹弼修。手機之靜電導引彈片 (ESD Spring) 的設計模擬分析。華碩電腦股份有限公司。第十四屆 2009 ABAQUS Taiwan Users' Conference.
- [9] 黎文龍，蘇柏魁。彈片式連接器之接觸彈簧插拔力最佳化分析研究。國立台北科技大學。2004 第四屆精密機械製造研討會。
- [10] 李維楨，謝清河。壓接式連接器之針眼端子之分析與最佳化。台灣科技大學。98年碩士論文。

七、表格

表1 Abaqus分析數據 (單對端子)

	最大應力	最大力量
PCB 板卡插入	682.8 MPa	0.762 N
PCB 板卡拔出	712.2 MPa	0.296 N

表2 實測最大插拔出力數據

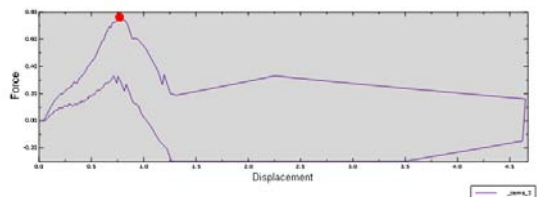
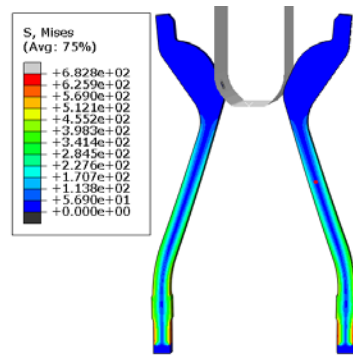
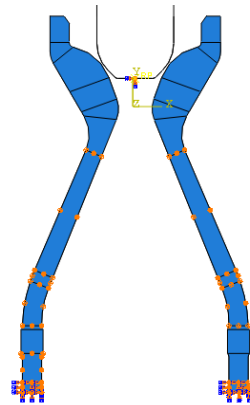
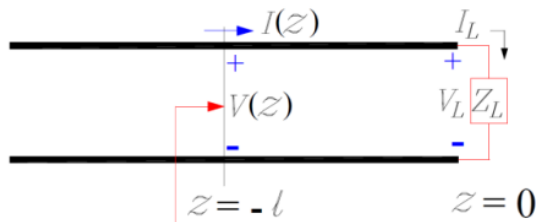
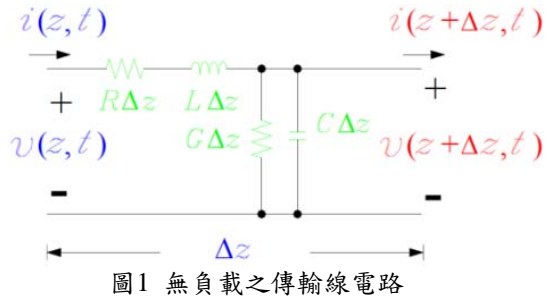
Sample Test Free	1		2		3		4		5	
	Insertion	Withdraw	Insertion	Withdraw	Insertion	Withdraw	Insertion	Withdraw	Insertion	Withdraw
1	58.17	22.1	58.09	21.9	58.01	21.75	57.81	21.77	57.81	21.81
2	58.25	21.35	57.88	21.33	57.82	21.45	57.42	21.55	57.54	21.95
3	58.37	22.49	60.47	23.82	61.14	23.73	63.51	24.01	63.57	24.12
AVG.	58.43	21.98	58.91	22.08	58.99	22.52	59.58	22.44	59.64	22.41

Note 1: Unit Newton
Note 2: PCB Thickness 1.62mm

3 分析數據與實測比對表

	分析數據	實測數據	誤差百分比
最大插入力	64.77 N	59.09 N	8.77 %
最大拔出力	25.16 N	22.26 N	11.53 %
阻抗最大值	108.78 Ω	110.05 Ω	1.15 %
阻抗最小值	87.64 Ω	88.56 Ω	1.04 %

八、圖片



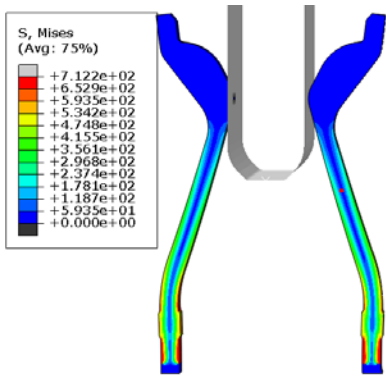


圖9 PCB板卡拔出端子之應力分布

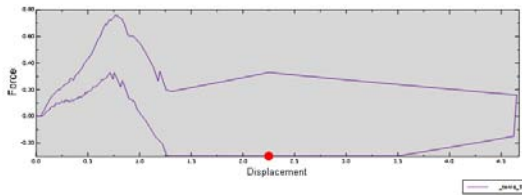


圖10 PCB板卡拔出端子之力量位移圖

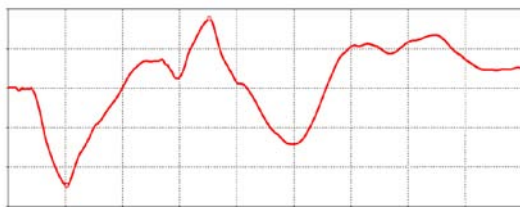


圖11 高頻電磁模擬阻抗分析結果

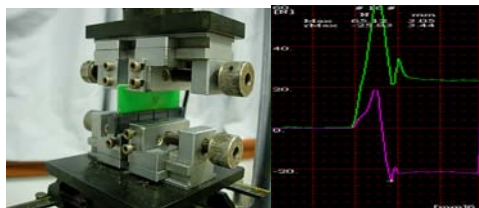


圖12 實測端子插拔力之力量位移圖

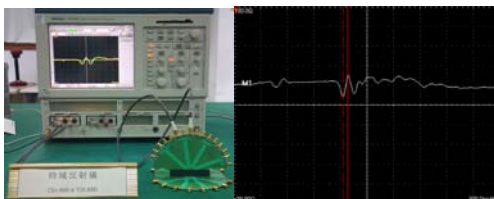


圖13 實測高頻特性阻抗

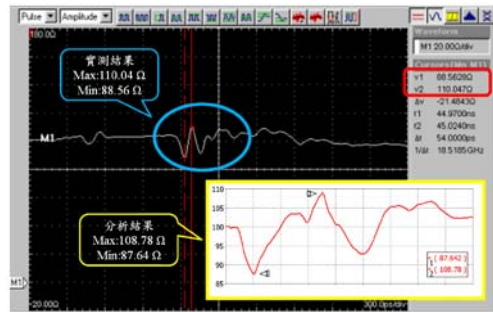


圖14 高頻特性阻抗實測與分析比較

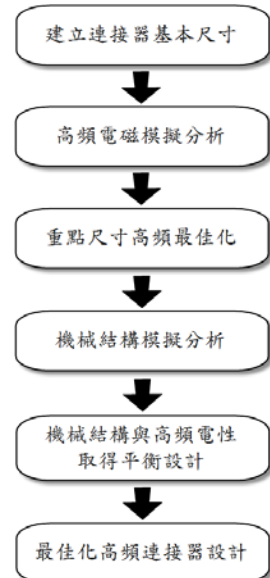


圖15 高頻連接器設計概念流程圖

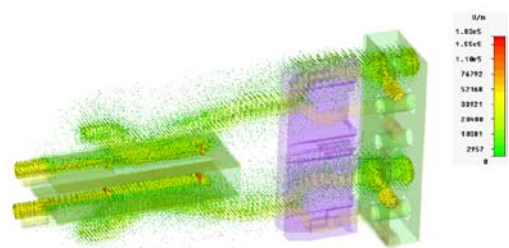


圖16 高頻電磁模擬分析之電磁場分布圖