

時域有限差分法在多層印刷電路板電磁相容問題的分析應用
Applications of FDTD in the Analysis of EMC Problems in Multilayer PCBs

計劃編號： NSC 89-2213-E-009-049

執行期限： 88.08.01-89.07.31

主持人：吳霖堃 教授 交通大學電信工程系

一、中文摘要

〔關鍵字：時域有限差分法，等效電路法，被切割的地面，吊橋，回流，走線〕

本計劃將激發源內移與等效電路法結合起來以大幅改善時域有限差分法的計算效率。對 microstrip 線路由被切割的地面通過時的信號傳輸品質的應用分析結果顯示：（一）維持直流地面連續的吊橋最好只有一條以避免回流分流和繞道的問題，（二）走線應由吊橋上方通過，（三）橋寬不應過窄以避免回流匯集的問題。

英文摘要

(Keywords: FDTD, equivalent-circuit approach, divided ground plane, drawbridge, return current, traces)

Improvement in computational speed of the FDTD has been achieved by: (1) moving source plane away from the input-side truncation plane toward the discontinuity, and (2) using the equivalent-circuit approach to simultaneously extract fundamental characteristics (i.e., characteristic impedance and phase constant) of each line constituting the discontinuity and the associated S parameters.

For the problems of propagation of signal across divided ground plane investigated, it is found that: (1) a single, instead of dual or multiple, drawbridge should be used to avoid the problems associated with excessive diversion of

return current, (2) traces should be routed across the divided plane through the drawbridge, and (3) drawbridge should be sufficiently wide to avoid the problems associated with over-crowding of return current.

二、研究方法

多層印刷電路板中的主要佈線型態為 microstrips 和 striplines。在分析不連續線路的傳輸特性時，FDTD 首先需分析組成不連續的各個輸出入線路的基本傳輸特性（即特性阻抗與傳播常數），隨後才能分析不連續結構的反射與傳輸參數。後者為能明確地區隔入射、反射、與穿透波形，激發源—不連續處—觀測點—吸收面之間皆須保持足夠大的間隔，因此造成很大的計算資源上的負擔。

為改善上述缺點，如圖一所示，我們採行下列作法。首先，我們依【1】的方法將激發源由輸入側的吸收面向內移動。如此，由於激發源較靠近不連續處，其反應可較早發生而達到縮短計算時間的效果。此外，由於激發源與吸收面分開，吸收邊界條件可於模擬開始時即開始運作以避免直流失真問題的發生【2】。我們再依【3】和【4】的等效電路法直接模擬不連續的電路結構。如圖二所示，我們將各埠適當觀測點所紀錄之電場與磁場時間與空間取樣值換算成相關之電荷、電壓、電流、與磁通量的頻譜分佈，再計算出單位長度之電感和電容並求出各埠線路之特性阻抗與傳播常數。由於單位長度之電感和電容與電波傳播方向無關，上述計算所用之電荷、電壓、電流、

與磁通量可包含入射與反射波成份，因此觀測點並不需離不連續處太遠（但仍應足夠遠以免受高階模影響）。隨後，各埠觀測點所紀錄之總共電壓、總共電流、與計算所得之特性阻抗可再用以將總共電壓的入射與反射波成份分離開來【4】。最後再將各埠的入射與反射電壓以及特性阻抗代入 S 參數的基本定義中即可算出入射埠的反射係數和兩埠之間的傳輸係數。

三、 研究結果

我們應用上述研究方法探討印刷電路板上不同功能屬性的電路區塊之間為隔離雜訊由共用直流地面（或電源面）直接偶合所常採行的地面切割（plane cut）措施時的信號佈線問題（見圖三）。為維持直流地面之連續以及提供跨越被切割的地面兩側信號線的回流路徑，我們考慮被切割的地面留有一特定寬度的吊橋（drawbridge over moat）的問題（此一吊橋亦可由磁珠取代），並探討信號線由吊橋通過與否的信號傳輸（入射、反射、與穿透）與輻射特性。為簡化計算上的複雜度，我們考慮一條 microstrip 由有限寬度的地面的中央通過被切割的地面的問題。為維持結構的左右對稱性，當信號線由吊橋通過時，吊橋只有一條且位於被切割處的中央（見圖一）；但當信號線不由吊橋通過時，吊橋則有兩條且與被切割處的中央呈左右對稱的方式擺置（見圖四）。基板為 30 mils 厚的 FR-4（ $\epsilon_r = 4.7$ ），寬度為 765 mils；信號線寬度為 45 mils。單和雙吊橋的長度皆為 150 mils，單吊橋的寬度（ $WD \times 2$ ）、雙吊橋的個別寬度（WD）及其內側離板子中央線間隔（ $(J-1) \times \Delta y$ ）、皆為可調（其尺寸皆以 FDTD 的 y 軸取樣間隔 $\Delta y = 7.5$ mils 的倍數表示）。計算結果則包含功率反射係數 S_{11}^2 、功率穿透係數 S_{21}^2 、與功率輻射係數 $1 - (S_{11}^2 + S_{21}^2)$ 。

圖五展示不同的單吊橋寬度對信號傳輸與輻射特性的影響。當板面未被切割時（ $WD = 51\Delta y$ ）並無反射發生，但頻率超過 4-GHz 時，會有小幅度的輻射發生，並造成傳輸功率的下降。當板面被切割且切割深度擴大時，WD 變小到 $4\Delta y$ 之前，反射現象並不明顯，但高頻輻射則逐漸增強，而高頻傳輸則逐漸下降。當 WD 小到 $3\Delta y$ 之後（亦即橋寬小於信號線的寬度），由於分佈範圍大於線寬的地面回流於切割處被迫朝橋面匯集，高頻反射現象逐漸顯現，尤其是當 $WD = 0$ 時（亦即板面被完全分割成兩塊），反射與穿透係數顯示一有損的帶通濾波反應，其通帶約位於 4-GHz 附近。此時，直流信號因欠缺適當的電流回路而完全被反射回去，但當頻率上升時，回流可藉由切割處左右兩地面之間的電容偶合而完成回路（見圖六的瞬間地面電流分佈圖），因而使得反射（穿透）係數隨頻率上升而下降（上升）的現象。頻率超過 4-GHz 後，切割處的長度以迫近十分之一波長，前述之板間電容的電感作用已逐漸增強，因而造成穿透（反射）係數隨頻率上升而下降（上升）的現象。切割處則因形成 slot 型天線，使得板子的高頻輻射大幅增加。

圖七和圖八展示雙吊橋橋內側與走線的中央線間隔對信號傳輸的影響；橋寬固定為線寬的一半，即 22.5 mils。當 $J = 1$ 時，兩個吊橋靠在一起且總橋寬與線寬相同，信號所受擾動較小。當 $J > 1$ 時，兩個吊橋分開，除橋外側與板子邊緣的 slot 之外，走線下方亦形成一個 slot。由於地面回流被迫繞道，反射（穿透）係數隨橋距的擴大而增高（降低）；此一結果並不太隨橋的寬窄改變。

四、 結論

本計劃將激發源內移與等效電路法結合起來的作法可大幅改善 FDTD 的計算效率。對

地面切割時的 microstrip 線路傳輸品質的應用分析結果顯示：(一) 維持直流地面連續的吊橋最好只有一條以避免回流分流和繞道的問題，(二) 走線應由吊橋上方通過，(三) 橋寬不應過窄以避免回流匯集的問題。

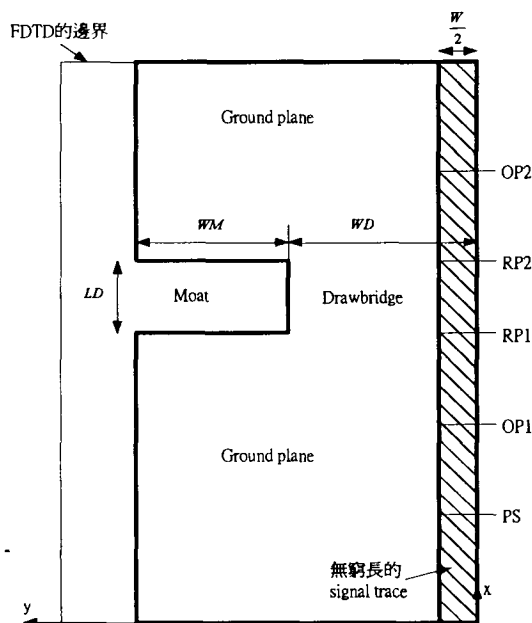
參考文獻

[1] A.P. Zhao et al., "A fast and efficient FDTD algorithm for the analysis of planar microstrip discontinuities by using a simple source excitation scheme," IEEE MGWL, vol. 5, pp. 341-343, Oct. 1995.

[2] D.M. Sheen et al., "Application of the three-dimensional finite difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits," IEEE T-MTT, vol.38, pp. 849-857, 1990.

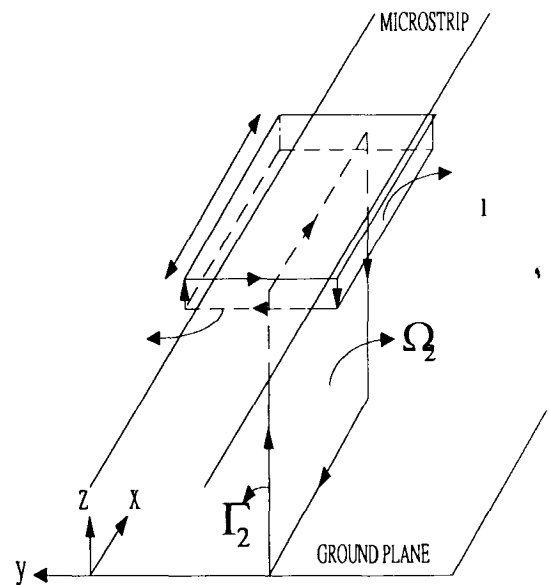
[3] L.L. Liou et al., "An equivalent circuit approach for microstrip component analysis using the FDTD method, IEEE MGWL, vol. 8, pp. 330-332, Oct. 1998.

[4] C. Schuster and W. Fichtner, "Explanation and extension of the equivalent circuit approach for parameter extraction," IEEE MGWL, vol. 9, pp. 392-394, Oct. 1999.

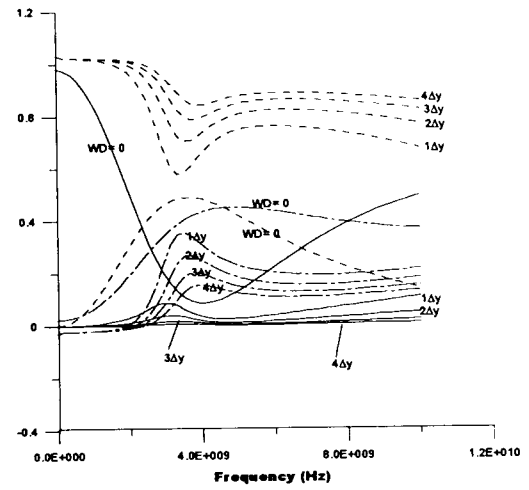
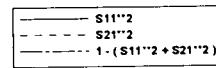
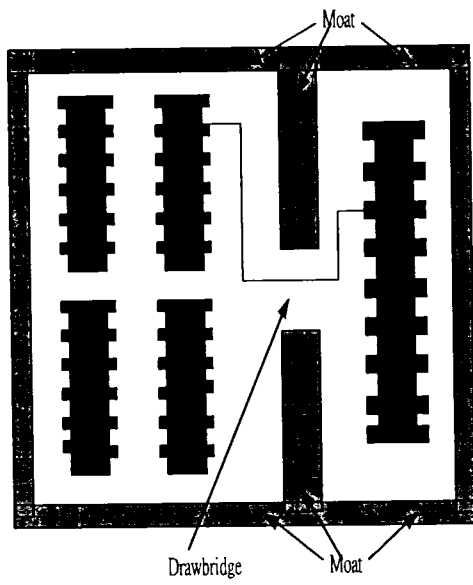


RP1&RP2: reference plane
OP1&OP2: 觀測點
PS : source plane

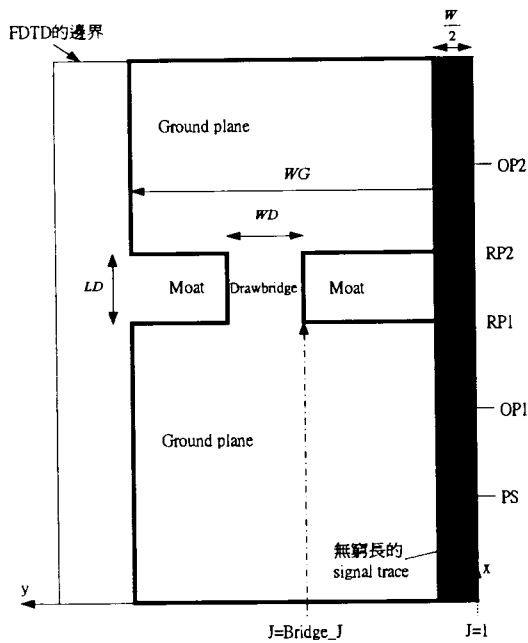
圖一、對稱之單吊橋結構之俯視圖(左半部)及 FDTD 激發源與各觀測點的安排方式。



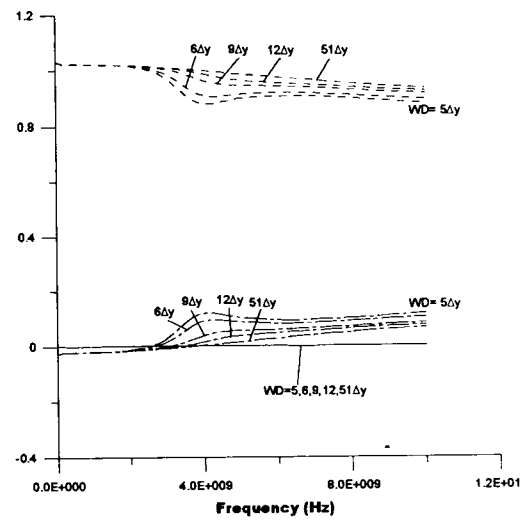
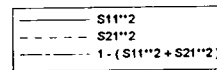
圖二、等效電路法計算電荷、電壓、電流、與磁通量所用之積分幾何。



圖三、單吊橋狀況下的佈線方式示意圖。

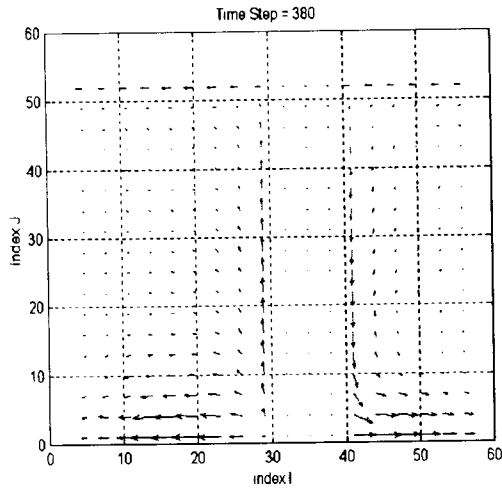


RP1&RP2: reference plane
 OP1&OP2: 觀測點
 PS : source plane

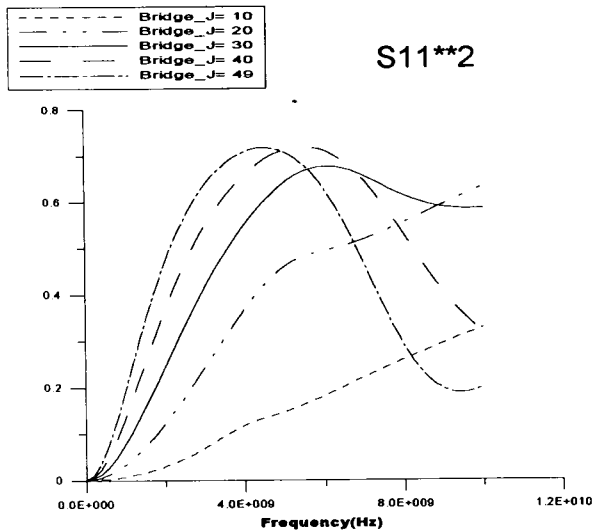
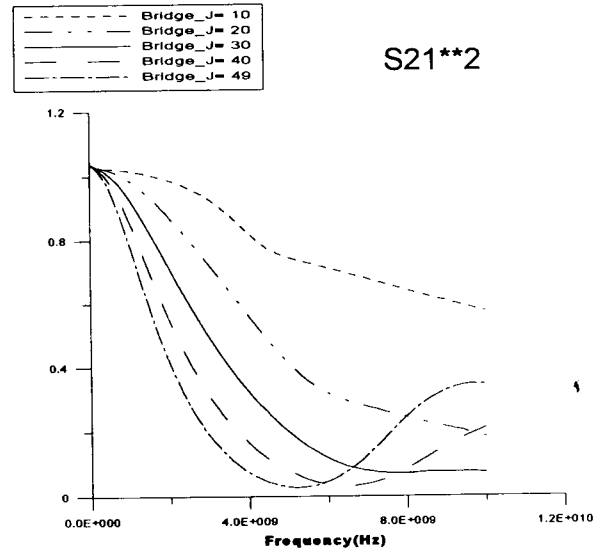
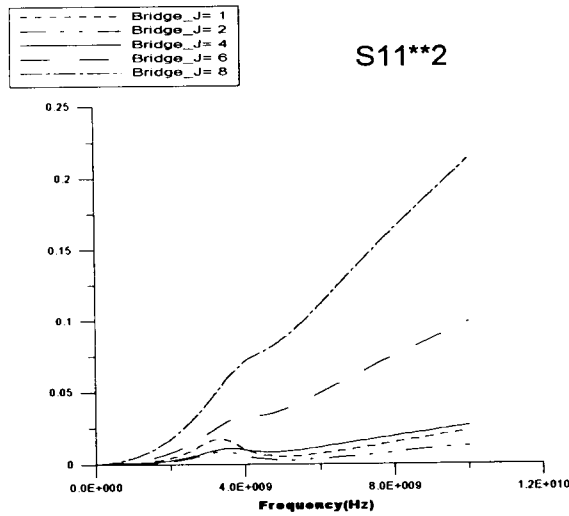
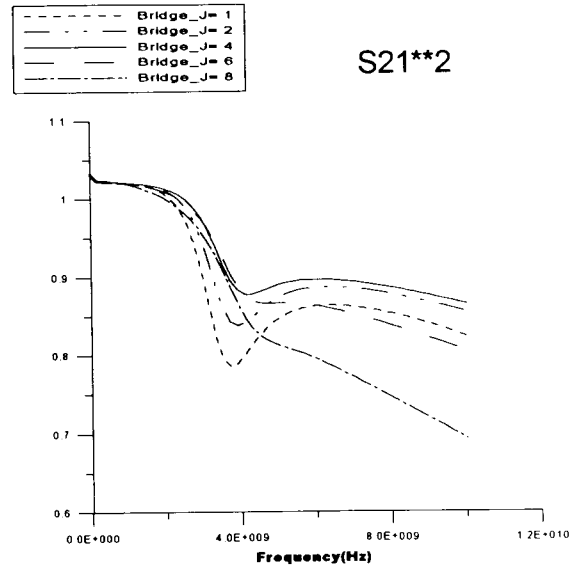


圖五、對稱之單吊橋結構橋寬改變時對反射、穿透、與輻射的影響。

圖四、對稱之雙吊橋結構之俯視圖（左半部）。



圖六、地面完全被切開時的瞬間電流分佈
 ($t = 380\Delta t$)。



圖八、對稱之雙吊橋結構橋位置改變時對
 穿透係數之影響。

圖七、對稱之雙吊橋結構橋位置改變時
 對反射係數之影響。