

# 實用EMI疑難排解

## 應用摘要

### 簡介

世界各國皆爲了對電氣和電子設備的使用者提供保護和安全等級，而設有適當的EMI/EMC法規；同時各家製造商也在現今的產品設計中投入了大量的時間和精力，盡可能地減少EMI的放射特性。

許多公司會採用專業測試機構的服務來執行EMI/EMC認證所需的實際相容性測試。測試設備可能屬於外部

公司（「檢驗站」）或內部EMC部門。大多數的工程師亦採用了良好的設計做法，以盡量減少潛在的EMI/EMC問題。即使可使用準確的EMI/EMC模擬套件，現今，在設計和原型階段期間也常會執行「預相容性」量測，以在將產品送出執行相容性測試前就先找出並解決潛在的EMI/EMC問題。這些技術可降低產品無法通過檢驗站的最終完整相容性測試的風險。

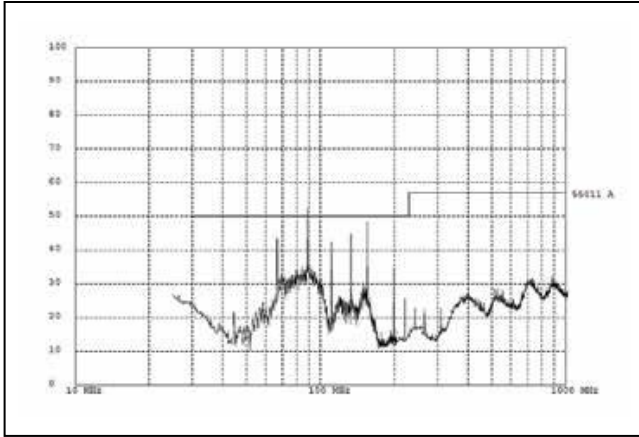


圖1. 此EMI測試報告顯示在大約90MHz處有故障。

頻率範圍	CISPR 頻帶	偵測器	濾波器 頻寬
9 kHz - 150 kHz	A	峰值， QP	200 Hz
150 kHz - 30 MHz	B	峰值， QP	9 kHz
30 MHz - 1 GHz	C/D	峰值， 平均	120 kHz
> 1 GHz	E	峰值， 平均	1 MHz

表 1. CISPR 測試要求會隨頻率範圍而變動並會影響頻率解析度。

Frequency (MHz)	Ampl. (dBμV)	AntFact (dB/m)	Ant. Pol.	Preamp (dB)	Cab.+Atten Loss	Chamber (dB)	Adjusted (dBμV/m)	Spec (dBμV/m)	Margin (dB)
66.5540	61.3	6.6	Hor.	27.9	0.7	2.8	43.5	50.0	6.5
84.5338	45.8	7.5	Hor.	27.8	0.8	8.7	35.0	50.0	15.0
88.7291	64.6	7.9	Hor.	27.8	0.8	6.8	52.3	50.0	-2.3
110.9042	59.0	7.6	Hor.	27.6	1.0	2.6	42.5	50.0	7.5
133.0795	62.1	7.3	Hor.	27.2	1.0	1.7	44.8	50.0	5.2
155.0557	64.8	8.6	Hor.	27.0	1.1	1.0	48.5	50.0	1.5

圖 2. 此資料顯示，圖 1 中的故障出現在 88.7291MHz，但請勿讓這些數字讓您相信這是精確的來源頻率。

## 但是，若產品無法通過相容性測試？

即使採用良好的設計、選用優質的組件，並花時間仔細分析產品的特性，仍可能會面臨 EMI 的問題！（圖 1）

上述報告指出，有個單一峰值超過此特定標準的限制。通常在報告中，我們也會取得表格形式的資訊（圖 2）。

## 瞭解 EMI 報告

EMI 報告乍看之下與上面顯示的圖形有點類似，提供一些簡單的資訊，說明有關在特定頻率所出現的故障。找出哪一個設計組件包含來源頻率，並應用一些衰減以通過測試應該是一件簡單的事情。在篩選設計以試圖確定問題的來源之前，必須先瞭解檢驗站如何產生此報告。

圖 2 中的報告顯示了測試頻率、量測的振幅、校準的修正係數和調整的磁場強度。調整後的磁場強度會與規格進行比較，以確定餘量或過量。雖然在報告中明確列出了許多測試條件，但有一些要考慮的重要事項卻可能不明顯。

**頻率範圍和測試點數量：**測試報告中所提出的頻率不太可能剛好是 EMI 來源的頻率。頻率範圍和測試點的數量有助於確定相容性測試頻率可能如何接近來源的實際頻率。根據「國際無線電干擾特別委員會」(Special International Committee on Radio Interference, CISPR) 的規定，執行放射測試時，必須根據頻率範圍使用不同的測試方法。每個範圍皆需要一個特定類型的解析度頻寬濾波器和偵測器，如表 1 所示。頻率範圍將可確定濾波器頻寬及解析感興趣的準確頻率的能力。

**偵測器類型：**一般而言，當此測試要花費最少的時間來完成時，檢驗站將先完成峰值的掃描。由於偵測器的性質 (請參閱側欄內容「常見的峰值偵測類型」)，準峰值 (QP) 掃描會需要更多的時間來完成。準峰值偵測使用量測加權方法來強調訊號 (可從廣播的角度解釋為更「討厭」)，因此，可能的是，偵測器類型將會遮掩違規訊號的絕對振幅。

**方位角/距離：**執行掃描時，待測設備 (UUT) 可能會放置在轉台上，以從多個角度來收集資訊。此方位資訊將會非常有用，因為這可指示問題是從 UUT 的哪個區域發出。

為了進一步使問題複雜化，EMI/EMC 檢驗站將會在校準射頻室中進行量測並將磁場強度的量測值報告為結果。

幸運的是，您不需要重複檢驗站的條件來疑難排解 EMI 測試失敗；疑難排解不需要是在高度控制的 EMI 測試設備上執行的絕對量測，而是可以利用測試報告中的資訊，並充分理解用於產生報告的量測技術，以及在 UUT 周圍的相對觀察等條件來執行，以隔離來源和衡量補救措施的有效性。

## 常見的峰值偵測類型

EMI量測可以用簡單的峰值偵測器進行。但EMI部門或外部檢驗站則是使用準峰值 (QP) 偵測器。所以，您也許想知道您是否也需要QP偵測器。

EMI部門或外部實驗室通常會利用一個簡單的峰值偵測器來執行掃描以開始他們的測試，發現超過或接近規定極限的問題區域。針對接近或超過極限的訊號，他們執行QP量測。QP偵測器是由EMI量測標準所定義的特殊偵測方法，用於偵測訊號包絡的加權峰值 (準峰值)，會根據其持續時間和重複率來加權訊號。和不常出現脈衝相較，更常發生的訊號將產生更高的QP量測。

圖3顯示的是峰值和QP偵測的範例。在此處，峰值和QP偵測中均出現了具有 $8\mu\text{s}$ 脈衝寬度和 $10\text{ms}$ 重複率的訊號。所得的QP值低於峰值 $10.1\text{dB}$ 。

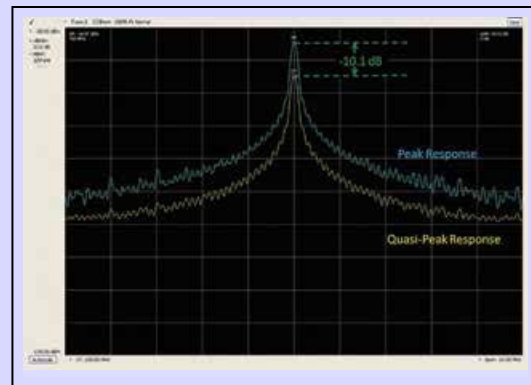


圖3. 峰值偵測和準峰值偵測的比較。

請記住一個實用的規則，QP將始終小於或等於峰值偵測值，絕對不會更大。所以，您可以使用峰值偵測來進行EMI疑難排解和診斷程序。您並不需像EMI部門或實驗室掃描一樣準確，因為這是相對的結果。若您的實驗報告顯示設計超過 $3\text{dB}$ 且峰值偵測為超過 $6\text{dB}$ ，則您需要實行修正，將訊號降低 $3\text{dB}$ 以上。

## 從哪裡開始？

當我們從EMI的角度來看任何產品時，整個設計可以視為能量來源和天線的集合。若要找出EMI問題的來源，我們必須首先確定能量來源，並找出如何此能量是如何進行輻射。EMI問題\*的常見來源包括：

- 電源濾波器
- 接地阻抗
- 傳回不足的訊號
- LCD放射
- 組件寄生效應
- 不良的纜線遮蔽
- 切換式電源 (直流/直流轉換器)
- 內部耦合問題
- 金屬化外殼上的ESD
- 不連續的返回路徑

\* W. D. Kimmel, D. D. Gerke; "Ten Common EMI Problems in Medical Electronics"; Medical Electronics Design; October 1, 2005

雖然這份清單列出了一些常見的EMI來源，但也絕不是最終的清單。工程師通常會採用近場探棒來確定特定電路板上的能量來源；在使用這些探棒類型時，我們必須牢記訊號傳播的基礎原理。

若要找出特定EMI問題核心的特定來源和天線，我們可以檢查觀測訊號的週期性和符合性。

### 週期性：

- 什麼是訊號的射頻頻率？
- 是脈衝或連續？

這些訊號的特性可以使用基本的頻譜分析儀進行監測。

### 符合性：

- UUT上的什麼訊號與EMI事件相符？

使用示波器來探測UUT上的電氣訊號是常見的做法。

檢查EMI問題與電氣事件的符合性可說是在EMI診斷中最耗費時間的過程。在過去，若要以有意義的方式來建立頻譜分析儀和示波器資訊的關聯，將會是非常困難的工作；不過自從推出MDO4000B混合域示波器 (請參閱側欄內容：「混合域示波器」) 後，您即可輕鬆同步多台儀器以進行EMI疑難排解。

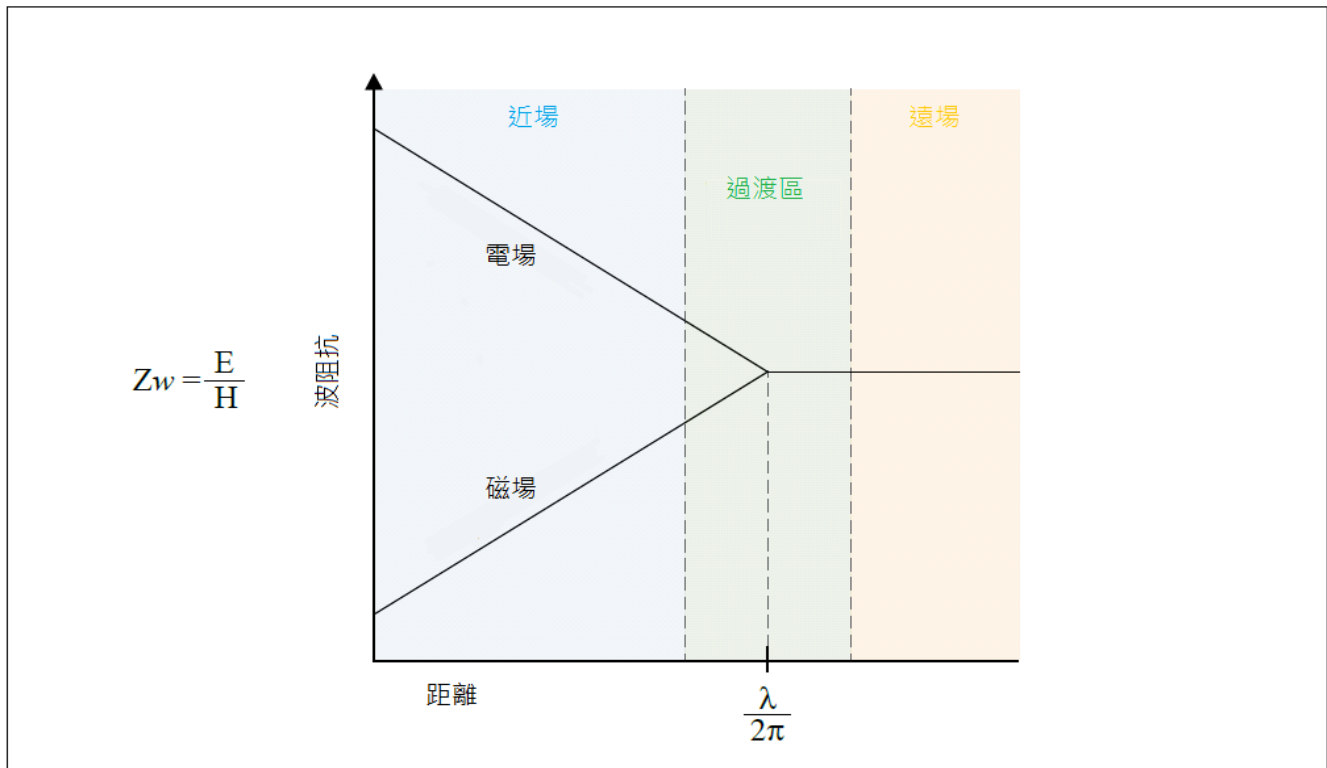


圖4. 在近場中，波阻抗取決於來源的性質及其之間的距離。在遠場中，阻抗則是恆定值。

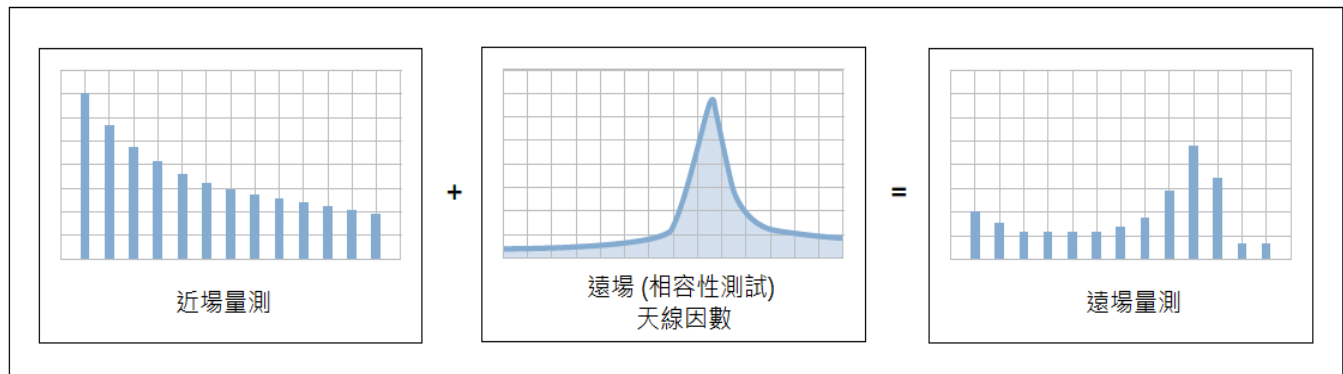


圖5. 遠場量測不僅取決於在近場中的活動觀察，還包括其他因素，例如天線增益和測試條件。

## 近場 vs. 遠場量測

圖 4 顯示波阻抗在近期和遠場的行為，以及之間的過渡區域。我們可以看到，在近場區域中，範圍可以從主要為磁力至主要為電力。近場量測是用於疑難排解，因為這些量測可精確定位能量的來源，而無需設立特殊的測試站點。

不過，相容性測試是在遠場和預測的遠場中執行，近場量測的能量等級可能會非常複雜，因為遠場訊號的強度不僅取決於來源的強度，而且還包括輻射機制以及任何可能存在的遮蔽或濾波。根據經驗，我們必須記住，若能在遠場中觀察到某個訊號，則我們應該也能在近場中看到同樣的訊號。但是，若在近場觀察到某個訊號，卻不表示也能在遠場中看到相同的訊號。

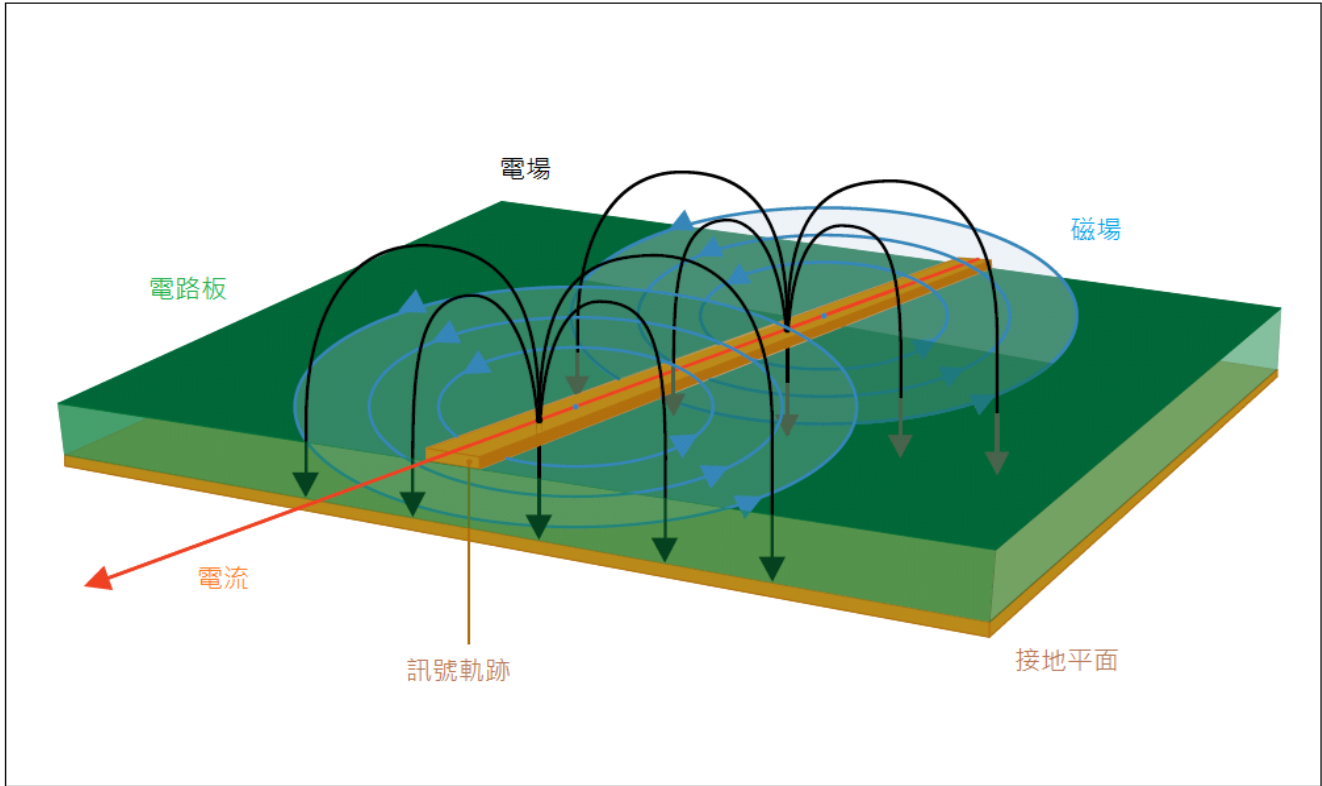


圖 6. 若構成訊號的電壓和電流改變，將會產生電場和磁場。

### 近場探測

雖然相容性測試程序是專為產生絕對的校準量測所設計，不過大部分的疑難排解均可使用相對量測來執行。

近場探棒基本上是為了發現磁力 (H Field) 或電力 (E Field) 變化的天線。一般而言，近場探棒並不隨附校準資料，所以僅適用於相對量測。

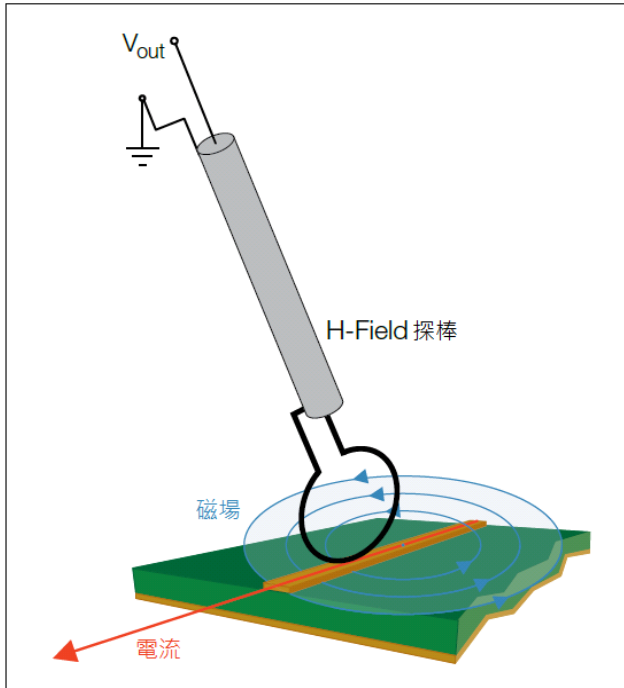


圖7. 將H-field探棒與電流平行放置，使磁力線可通過迴路。

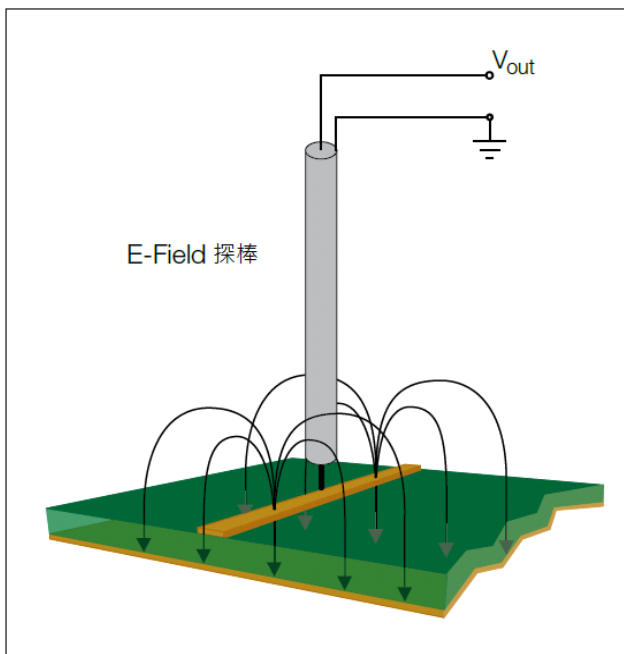


圖8. 將E-field探棒與導線垂直放置，以觀察電場。

## 磁場 (H-Field) 探棒

H-field 探棒具有一個獨特的迴路設計，並應將迴路平面與電流保持平行，使迴路與磁通磁力線相交。迴路的大小決定了靈敏度及量測的區域，因此，在使用這些類型的探棒來隔離能量來源時請務必小心。近場探棒套件通常包括多個不同的尺寸，如此便可以使用逐漸變小的迴路大小以縮減量測的區域。H-field探棒非常適合用於找出具有相對高電流的來源，如：

- 低阻抗節點及電路
- 輸電線路
- 電源供應器
- 終端線路與纜線

## 電場 (E-Field) 探棒

E-Field探棒可作為小型單極天線，並響應電場或電壓變化。當使用這些類型的探棒時，請務必使探棒與量測的平面保持垂直。在實際應用中，E-Field探棒非常適合在一個極小的區域上進行歸零，找出具有相對高電壓的來源以及沒有終端的來源，如：

- 高阻抗節點及電路
- 未終端的PCB軌跡
- 纜線

在低頻率時，系統中的電路節點阻抗可能會有很大的變化，所以您需要具備電路或實驗的相關知識，來判斷是H-Field或E-Field探棒將能提供最佳的敏感度。在較高頻率時，這些差異將會十分顯著。在所有的情況下，您應進行重複相對的量測，您才可信任所實行的任何變化的近場放射結果皆會精確地表示。最重要的考慮因素是針對每個實驗變化，近場探棒的位置和方向均要保持一致。

## 混合域示波器

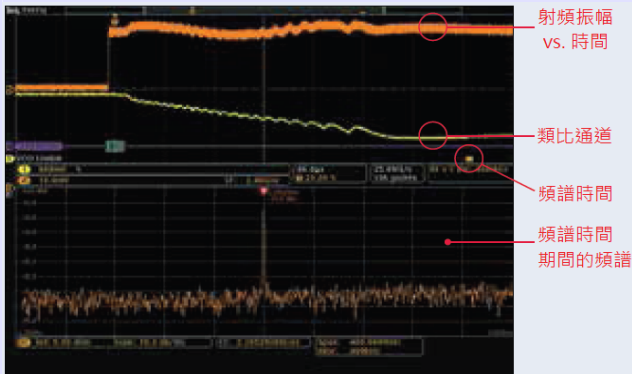


圖 9. 為振盪器啟動提供了一個時間相關的觀點。

混合域示波器結合了示波器、頻譜分析儀和邏輯分析儀的量測功能。MDO4000B系列提供可同時檢視同步的類比訊號特性、數位時序、匯流排傳輸和頻率頻譜的獨特能力；而MDO3000亦結合了示波器、頻譜分析儀、邏輯分析儀的功能，但無法同時擷取或檢視頻率頻譜和時域波形。



MDO4000B系列在一部設備中結合了頻譜分析儀、示波器和邏輯分析儀，而且這三種儀器均可產生與時間相關的量測。

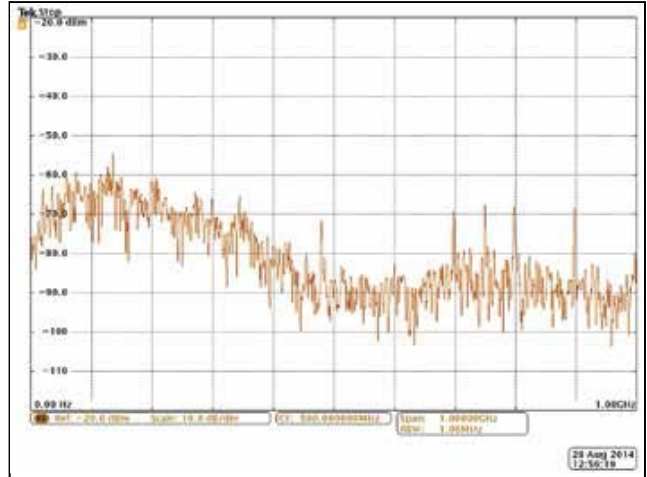


圖10. 頻譜分析器顯示放置在UUT附近的H-Field探棒的輸出。

## 案例分析：找出訊號特性與符合性來確定來源

本案例研究將說明收集證據以隔離 EMI 來源的程序。小型微控制器的 EMI 掃描顯示，似乎是一個集中於 144 MHz 的寬幅訊號發生超限故障。

若使用 MDO4000 (圖 9) 的頻譜分析儀，我們要先將 H-field 探棒連接至射頻輸入端，以確定能量來源的位置。

請務必定向 H-field 探棒，使得迴路平面與所評估的導體平行，從而定位迴路，讓磁通的磁力線可通過迴路。若移動在 PCB 周圍的 H-Field 探棒，即可確定能量來源的位置。透過選擇窄孔探棒，我們可將搜尋工作集中在較小的區域。



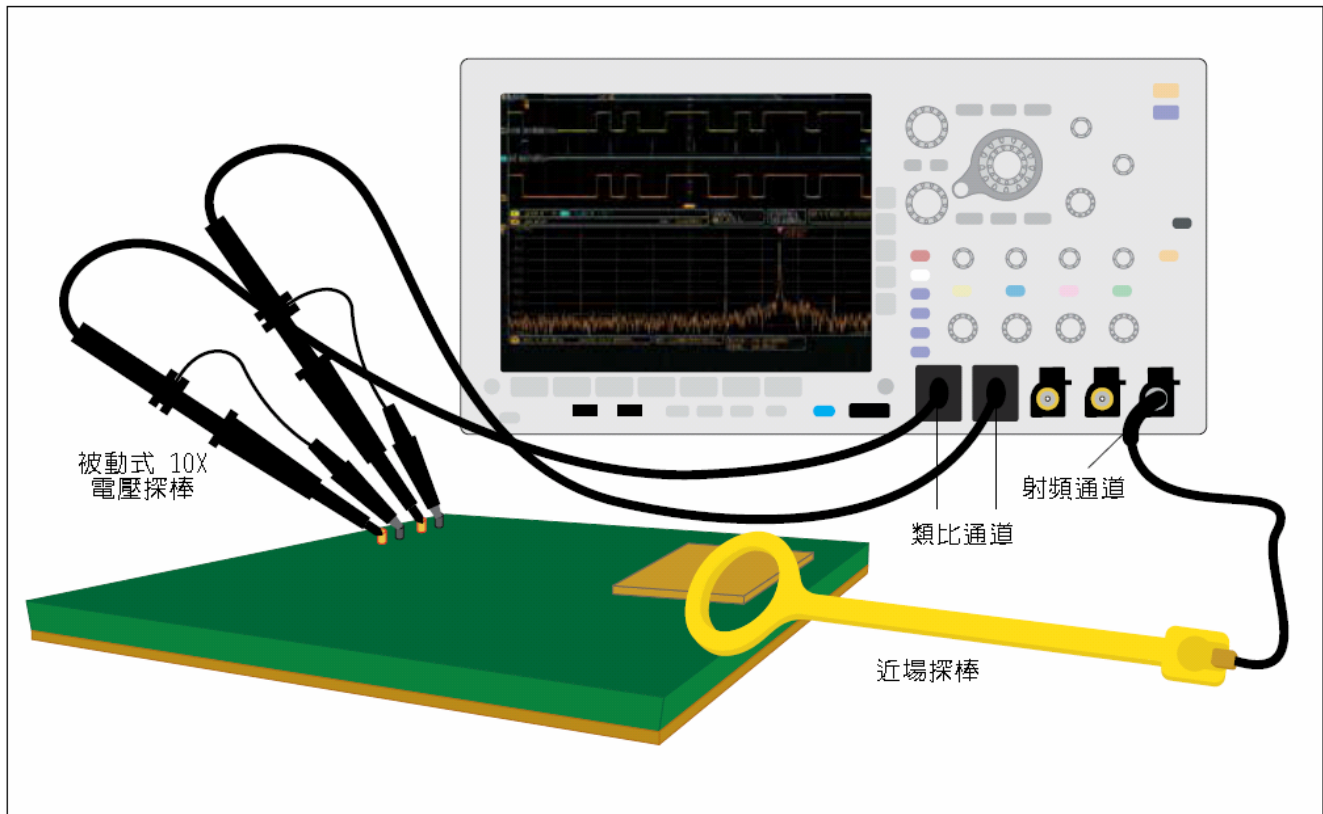


圖11. 測試設定結合了混合域示波器上的類比示波器通道和頻譜分析儀通道。

一旦我們已經找到能量的可視來源，即開啓「射頻振幅 vs. 時間」軌跡 (圖12)。此軌跡顯示了頻距中所有訊號的整合功率與時間關係。我們可以在顯示畫面中清楚地看到一個大型脈衝。若將頻譜時間移動過整個記錄長度，即可看到EMI事件 (寬頻帶訊號集中於約140 MHz)

直接對應於大型脈衝。若要穩定量測，我們可啓用射頻功率觸發功能，然後增加記錄長度，以確定射頻脈衝所發生的頻率。若要量測脈衝重複週期，則可啓用量測標記功能並直接確定週期。

## 應用摘要

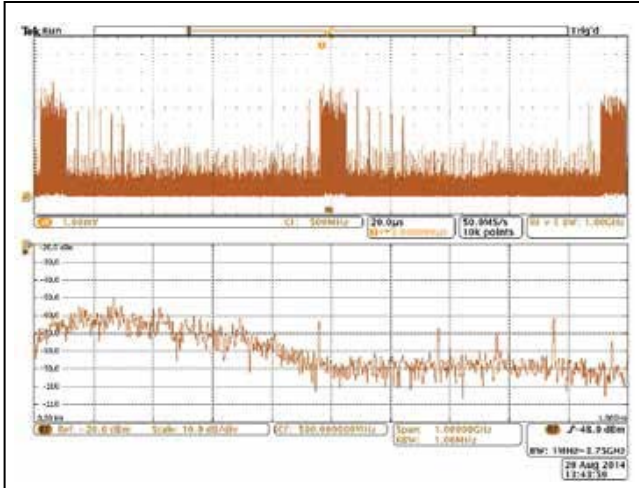


圖12. 「射頻振幅vs. 時間」軌跡顯示了明顯的脈衝。頻譜顯示畫面將會顯示其頻率內容。

若要正確識別EMI來源，下一步則是利用MDO4000的示波器部分。保持相同的設定，我們現在可以啓用示波器的通道1並瀏覽PCB，尋找與EMI事件一致的訊號來源。

使用示波器探棒瀏覽訊號一段時間後，即可發現圖13中的訊號。您可在顯示器上清楚地看到我們連接至示波器通道1的訊號可直接與電磁干擾事件建立關聯。

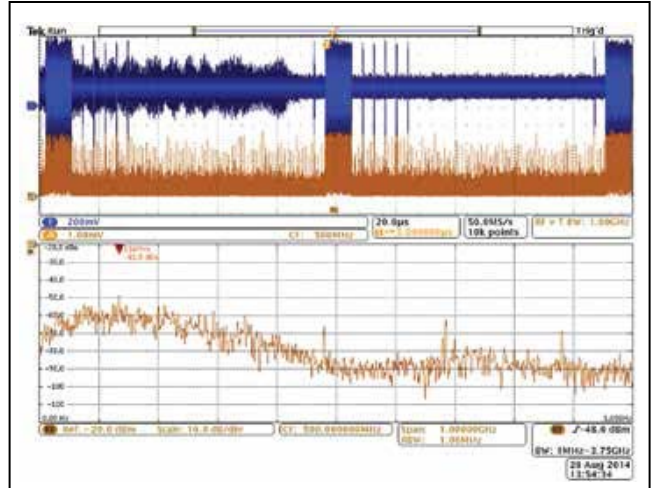


圖13. 若使用被動式探棒在一個示波器通道上探測訊號，即可發現與射頻相關的訊號。

## 結論

若無法通過 EMI 相容性測試，可能會增加產品開發進度的風險。不過，此處列出的疑難排解技術可協助您隔離能量的來源，讓您可制定補救計劃。有效的疑難排解需要充分瞭解相容性測試報告，以及相容性測試和疑難排解等程序如何使用不同的量測技術。在一般情況下，這取決於尋找相對高的電磁場、確定其特性，以及建立場活動與電路活動的關聯以確定來源。



## Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900  
奧地利\* 00800 2255 4835  
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777  
比利時\* 00800 2255 4835  
巴西 +55 (11) 37597600  
加拿大 1 800 833 9200  
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777  
中歐與希臘 +41 52 675 3777  
丹麥 +45 80 88 1401  
芬蘭 +41 52 675 3777  
法國\* 00800 2255 4835  
德國\* 00800 2255 4835  
香港 400 820 5835  
英愛爾蘭\* 00800 2255 4835  
印度 000 800 650 1835  
義大利\* 00800 2255 4835  
日本 81 (3) 67143010  
盧森堡 +41 52 675 3777  
澳門 400-820-5835  
蒙古 400-820-5835  
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 (52) 56 04 50 90  
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777  
荷蘭\* 00800 2255 4835  
挪威 800 16098  
中國 400 820 5835  
波蘭 +41 52 675 3777  
葡萄牙 80 08 12370  
南韓 001 800 8255 2835  
俄羅斯+7 (495) 7484900  
新加坡+65 6356-3900  
南非 +41 52 675 3777  
西班牙\* 00800 2255 4835  
瑞典\* 00800 2255 4835  
瑞士\* 00800 2255 4835  
台灣 886 (2) 2656 6688  
英國\* 00800 2255 4835  
美國 1 800 833 9200

\* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777  
最後更新日 2013 年 6 月

若需進一步資訊。Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪  
[www.tektronix.com.tw](http://www.tektronix.com.tw)



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2014 年 11 月 DM/WWW

3GT-30828-0

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 臺北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-1158

太克網站：[www.tektronix.com.tw](http://www.tektronix.com.tw)

**Tektronix**<sup>®</sup>