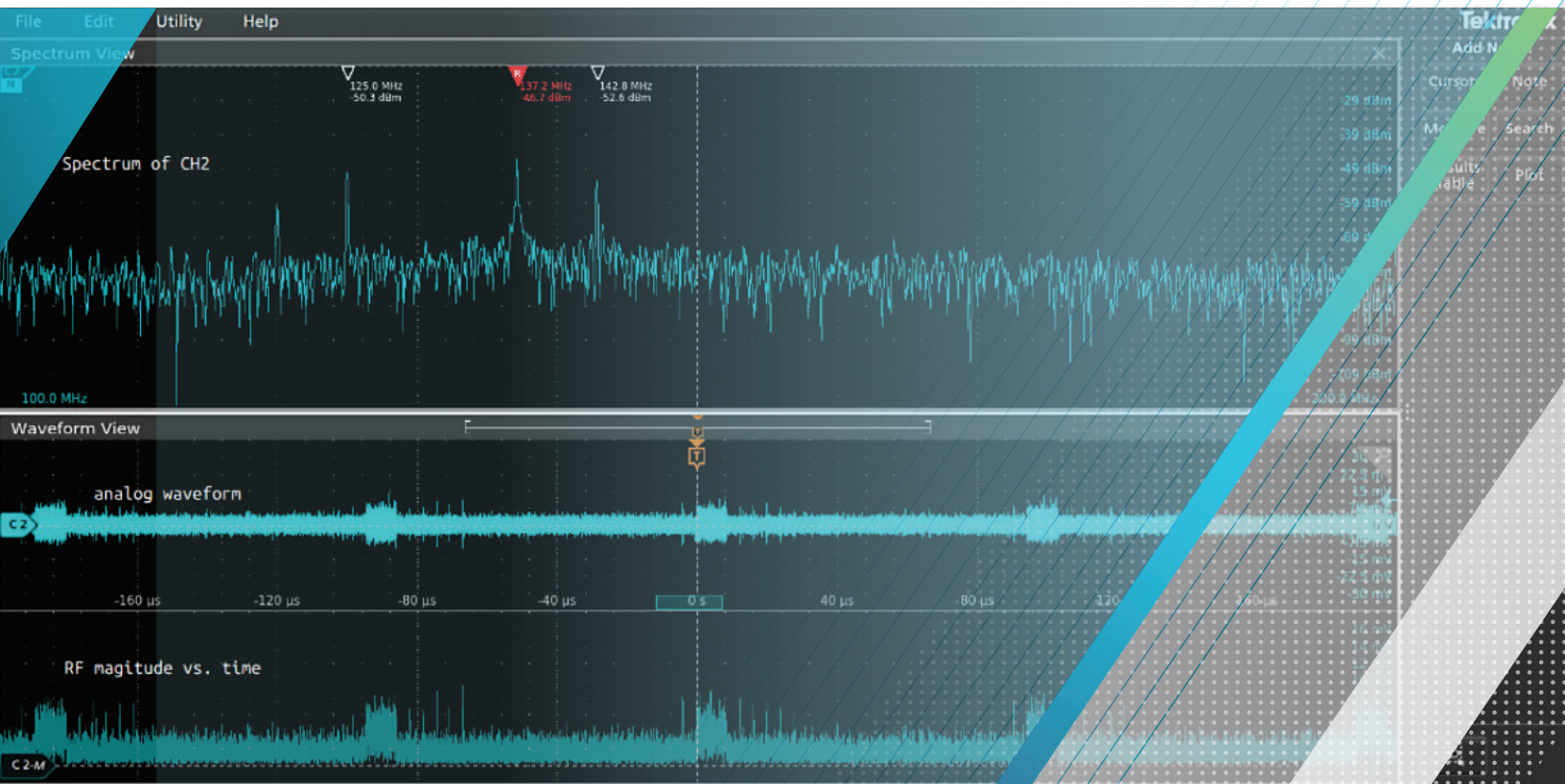
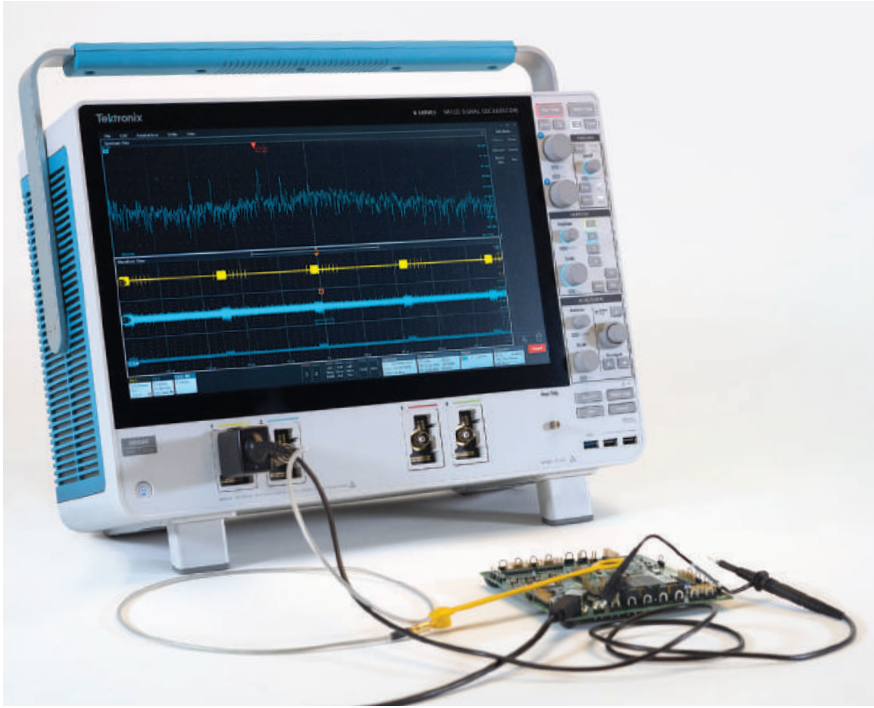


利用最新一代的示波器 輕鬆進行 EMI 疑難排解

應用摘要





介紹

EMI/EMC 法規有助於確保電氣和電子設備使用者能進行可靠的操作且安全無虞。法規限制了可允許的輻射發射量，而為了使產品不會超出這些限制，設計人員投入了大量時間和精力。本應用摘要介紹了可用於確定無用發射來源的技術，尤其是在透過正式測試或相容性測試確定超限條件之後。

許多公司都會使用專業測試設施的服務來執行 EMI/EMC 認證所需的實際相容性測試。測試設施可能屬於外部公司（「測試機構」）或內部 EMC 部門。大多數工程師都會採用良好的設計做法，以將 EMI/EMC 問題的可能性降到最低。即使可以使用準確的 EMI/EMC 模擬軟體套件，如今在設計和原型設計階段仍要進行「預相容性」量測，以識別並解決潛在的 EMI/EMC 問題，之後，才能將產品送出進行相容性測試。這些技術降低了產品無法通過測試室最終完整相容性測試的風險。

目前市場上已有多種測試儀器技術可用於疑難排解，亦能有效地消除影響相容性結果的發射來源。在許多情況下，若能採用具有與時間關聯的射頻量測功能的示波器（例如配備有 Spectrum View 的 Tektronix 4、5 或 6 系列 MSO，或附有整合式頻譜分析儀的 MDO4000），將可顯著地加快疑難排解的速度。而在其他情況下，類似於 Tektronix RSA306B 的即時頻譜分析儀將能縮短找出根本原因的路徑。本應用摘要將探討其中的一些疑難排解方法。

如果產品未通過相容性測試怎麼辦？

即使採用了良好的設計，選擇了高品質的組件，並花了一些時間仔細地分析產品特性，仍可能會遇到 EMI 問題！

圖 1 表示存在單峰且超過了此特定標準的限制。通常，在報告中，我們還將以表格形式接收資訊 (圖 2)。

瞭解 EMI 報告

乍看之下，EMI 報告 (如下所示) 似乎可以提供有關特定頻率下發生失敗的簡單資訊。找出設計的哪個組件以該來源頻率運作，並施加一定的衰減以通過測試，這應該是一件不難的事情。在篩選設計以嘗試確定問題根源之前，您必須瞭解測試機構如何產生這份報告。

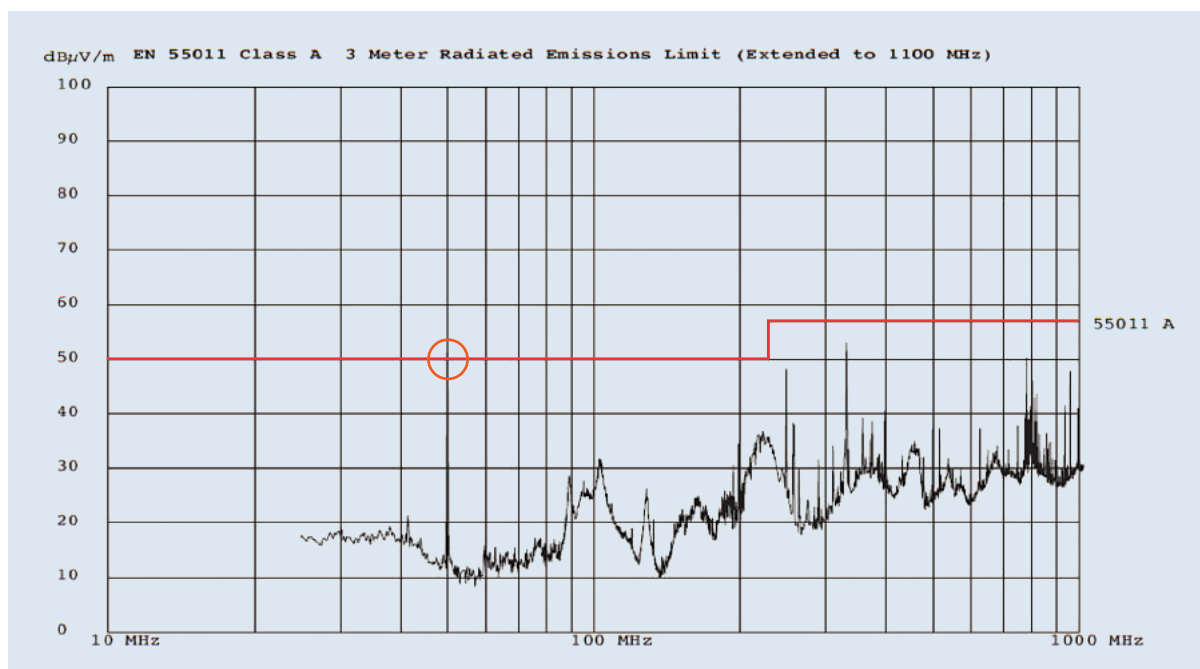


圖 1. 此 EMI 測試報告顯示了在大約 50 MHz 下所發生的失敗狀況。

EN 55011 Class A 3 Meter Radiated Emissions Limit (Extended to 1100 MHz)

Frequency (MHz)	Ampl. (dBµV)	AntFact (dB/m)	Ant. Pol.	Preamp (dB)	Cab.+Atten Loss	Chamber (dB)	Adjusted (dBµV/m)	Spec (dBµV/m)	Margin (dB)
49.9724	65.1	7.2	Hor.	27.1	1.1	5.0	51.3	50.0	-1.3
222.8912	47.7	11.1	Hor.	26.4	2.4	1.8	36.7	50.0	13.3
249.4451	59.3	12.2	Hor.	26.2	2.5	0.4	48.2	57.0	8.8
331.8535	56.6	14.3	Hor.	26.7	2.9	6.0	53.1	57.0	3.9
780.5217	49.8	23.1	Ver.	27.3	4.7	0.0	50.3	57.0	6.7
801.5817	44.1	23.2	Ver.	27.3	4.7	1.3	46.0	57.0	11.0
810.7382	40.3	23.2	Ver.	27.3	4.7	1.9	42.8	57.0	14.2
819.8947	40.5	23.2	Ver.	27.2	4.8	2.4	43.7	57.0	13.3
959.9890	44.4	23.5	Hor.	26.7	5.3	1.3	47.7	57.0	9.3

圖 2. 此資料顯示了圖 1 在 49.9724 MHz 下所發生的失敗狀況，但請勿因所有這些數字而認定這就是來源的精確頻率。

圖 1 和 2 中的報告顯示了測試頻率、測得的振幅、校準的校正因子和調整後的場強。將調整後的場強與規格進行比較，以確定餘裕 (或過量)。儘管許多測試條件在報告中皆明確列出，但要考慮的一些重要事項可能並不那麼明顯。

頻率範圍和測試點數量：測試報告中指定的頻率不太可能恰好是 EMI 來源的頻率。頻率範圍和測試點數量有助於確定相容性測試頻率可能與來源實際頻率的接近程度。根據國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 的規定，執行輻射測試時，必須根據頻率範圍使用不同的測試方法。每個範圍均需要特定的解析度頻寬濾波器和偵測器類型，如表 1 所示。

頻率範圍決定了濾波器的頻寬，進而決定了解析感興趣的確切頻率的能力。

頻率範圍	CISPR 頻帶	偵測器	濾波頻寬
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，平均值	120 kHz
> 1 GHz	E	峰值，平均值	1 MHz

表 1. CISPR 測試要求會隨頻率範圍和衝擊頻率解析度而變化。

偵測器類型：通常，測試室將首先完成峰掃描，因為此測試花費的時間最少。由於偵測器的特性，準峰值 (QP) 掃描需要花費較多時間 (請參見側欄「峰值偵測的常見類型」)。準峰值偵測使用量測權重，所以會更強調較為「惱人」的訊號 (從廣播角度來看)，所以偵測器類型可能會掩蓋有問題訊號的絕對振幅。

方位角/距離：進行掃描時，可將待測設備 (UUT) 放在轉盤上，以便可從多個角度收集資訊。方位角資訊非常實用，因為此資訊可指示問題是從 UUT 的哪個區域發出。

為了進行更複雜的量測，EMI/EMC 測試室將在經過校準的射頻室中進行量測，並報告結果以作為場強的度量。

幸運的是，您無需完全複製測試室條件即可解決 EMI 測試失敗。您可以善用測試報告中的資訊，充分瞭解用於產生報告的量測技術，並針對 UUT 進行相對觀察以隔離訊號來源且評估補救措施的有效性，輕鬆完成疑難排解作業，用以取代在高度受控的 EMI 測試設備中執行絕對量測。

峰值偵測的常見類型

您可以使用簡單的峰值偵測器進行 EMI 量測。但是 EMI 部門或外部測試機構是根據所採用的標準使用準峰值 (QP) 偵測器。因此，您可能想知道是否還需要準備 QP 偵測器。

EMI 部門或外部實驗室進行測試時，通常會先使用簡單的峰值偵測器進行掃描，以尋找超出或接近指定限制的問題區域。對於接近或超過限制的訊號，則將執行 QP 量測。QP 偵測器是依 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)。它根據訊號的峰值位準、持續時間和重複率對訊號進行加權。相較於不頻繁出現的脈衝，頻率較高的訊號將產生更高的 QP 量測值。使用 QP 偵測器的不利之處在於需要更長的駐留時間，這比使用峰值偵測器需要明顯更多的時間。這就是為什麼 QP 偵測器最常關注的是潛在的故障或感興趣的頻率的原因。

圖 3 顯示了來自具有恆定振幅的射頻訊號產生器的連續波 (CW) 訊號。由於是連續訊號，因此持續時間和重複率與訊號無關，結果相同。實際上，峰值掃描可以顯示接近限制的點，但是由於持續時間較短或訊號較罕見，準峰值掃描可能會產生低於限制的結果。

QP 結果一定會小於或等於峰值偵測的值，絕不會超過。因此，為節省時間，您可以將峰值偵測功能用於用於 EMI 疑難排解和診斷。您不需要與 EMI 部門或實驗室掃描結果完全相符，因為這是相對的結果。如果實驗室報告顯示設計超過 3 dB，且峰值偵測超過 6 dB，您即應進行修正，將訊號降低 3 dB (或更多)。

建議將本應用摘要中提到的示波器用於針對性的疑難排解作業，這些示波器已納入峰值偵測器。對於預相容掃描，隨附有 EMCVu EMC 預相容軟體的 RSA306B、RSA500、RSA600 和 RSA5000 即時頻譜分析儀可支援 CISPR 或 FCC 輻射和傳導發射掃描的準峰值偵測器，也支援峰值偵測器。請參閱[電磁干擾 \(EMI\) 和電磁相容性 \(EMC\)](#) 以瞭解其他資訊。

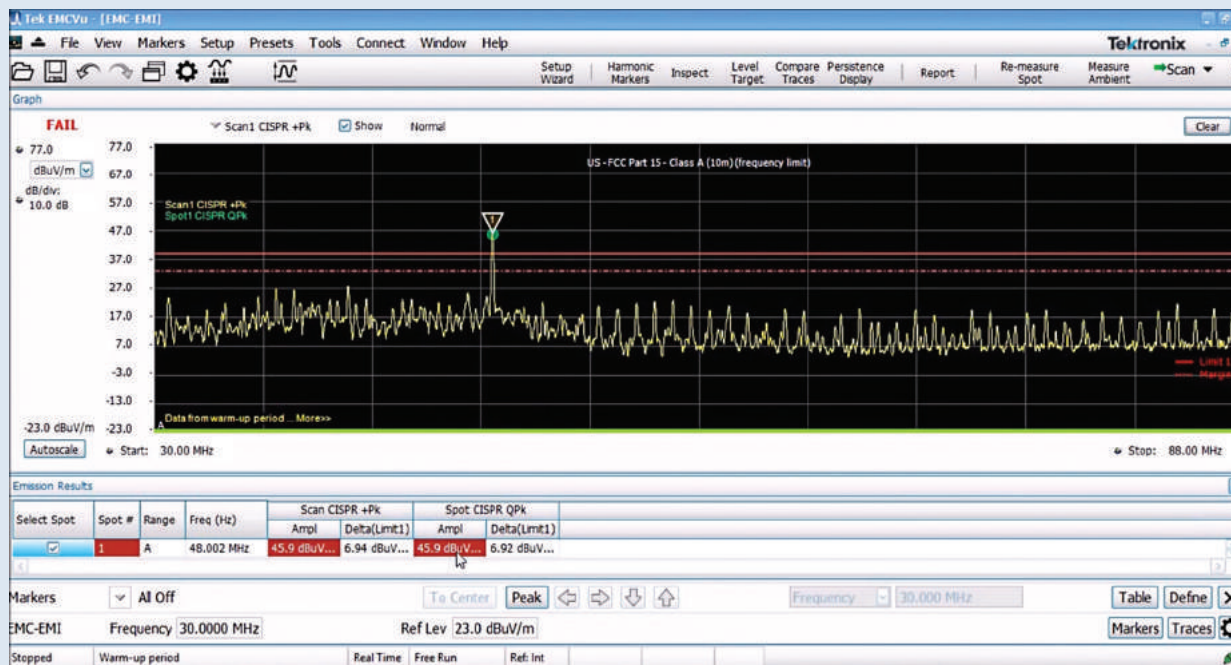


圖 3. 連續波 (CW) 訊號上的峰值偵測和準峰值偵測比較 (以圖表和表格格式)。此圖表是使用 EMCVu 預相容軟體和 Tektronix RSA306B 頻譜分析儀產生。

我該從哪裡開始？

當我們從 EMI 的角度來看任何產品時，您可以將整個設計視為能量來源和天線的集合。為了確定 EMI 問題的根源，我們必須首先確定能量來源，然後找出這種能量如何輻射。EMI 問題* 的常見來源包括：

- 電源供應器濾波器
- 接地阻抗
- 訊號返回不足
- LCD 發射
- 組件寄生
- 電纜遮蔽不良
- 切換式電源供應器 (直流/直流轉換器)
- 內部耦合問題
- 金屬外殼中的 ESD

儘管此清單列出了一些常見的 EMI 來源，但這並不是確定的清單。為了確定特定電路板上的能量來源，工程師通常會使用近場探棒。使用這些類型的探棒時，我們必須牢記訊號傳播的基本原理。

為了確定特定 EMI 問題核心的特定來源和輻射結構，我們可以檢查觀察到的訊號的週期性和一致性。

週期性：

- 訊號的射頻頻率是多少？
- 訊號是脈衝或連續的狀態？

您可以利用基本的頻譜分析儀監控這些訊號特性。

一致性：

- UUT 上的什麼訊號與 EMI 事件一致？

通常的做法是使用示波器來探測 UUT 上的電氣訊號。

檢查 EMI 問題與電氣事件的一致性可能是 EMI 診斷中最耗時的過程。過去，以有意義的方式關聯頻譜分析儀和示波器的資訊是非常困難的工作。4、5 和 6 系列 MSO 示波器上隨附的 Spectrum View 功能 (請參見側欄：「Spectrum View」) 可讓您不再需要同步多台儀器才能進行 EMI 疑難排解。

近場與遠場量測

圖 4 顯示了近場和遠場的行為，以及近場和遠場之間的轉態區域。我們可以看到，在近場區域中，場的性質可從以磁場為主到以電場為主。近場量測用於疑難排解，因為此方式可以精確定位能量來源，並且無需特殊的測試現場即可執行。在遠場量測中，磁電比例基本上是固定的值。

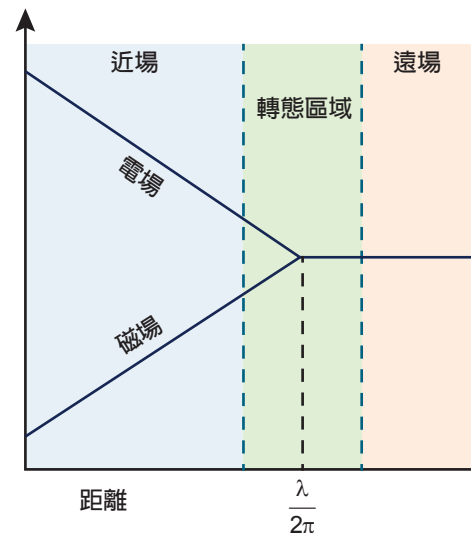


圖 4. 區域從近場變化到遠場時，到來源的距離與訊號波長成正比 (與頻率成反比)。

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

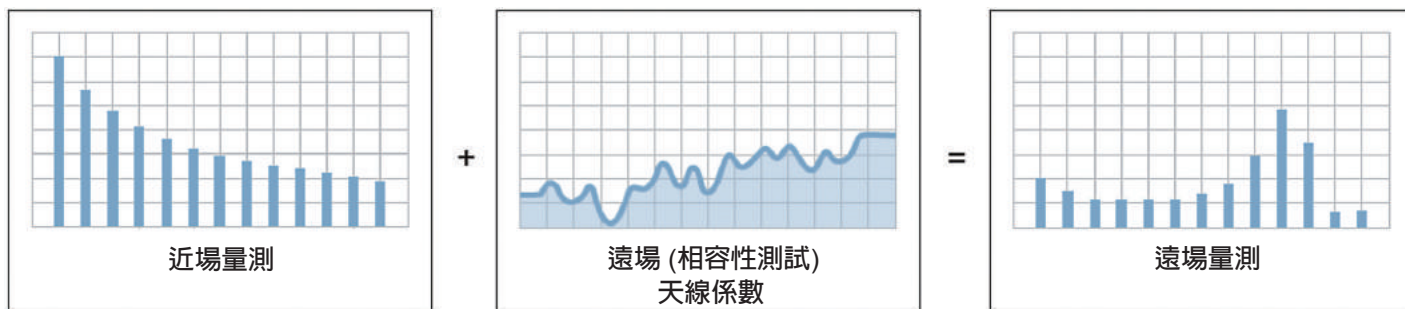


圖 5. 遠場量測不僅取決於近場中可觀察到的活動，還取決於其他因素，例如來源、天線增益和測試條件。

然而，相容性測試是在遠場中執行，並且根據近場量測來預測遠場能量等級可能是很複雜的作業。這是因為遠場訊號的強度不僅取決於來源的強度，而且還取決於輻射機制以及可能存在的任何遮蔽或濾波功能。根據經驗，我們必須記住，如果能在遠場中觀察到訊號，我們就應該能在近場中看到相同的訊號。但是，有可能在近場中觀察到訊號，而在遠場中看不到相同的訊號。

近場探測

儘管相容性測試程序旨在產生經過校準的絕對量測值，但是在很大程度上，可以使用相對量測值進行疑難排解。

近場探棒本質上是設計用於拾取磁場 (H 場) 或電場 (E 場) 變化的天線。通常，近場探棒不會隨附校準資料，因為其回應高度取決於探棒到 UUT 和訊號來源的距離和方向，因此近場探棒適合進行相對量測。

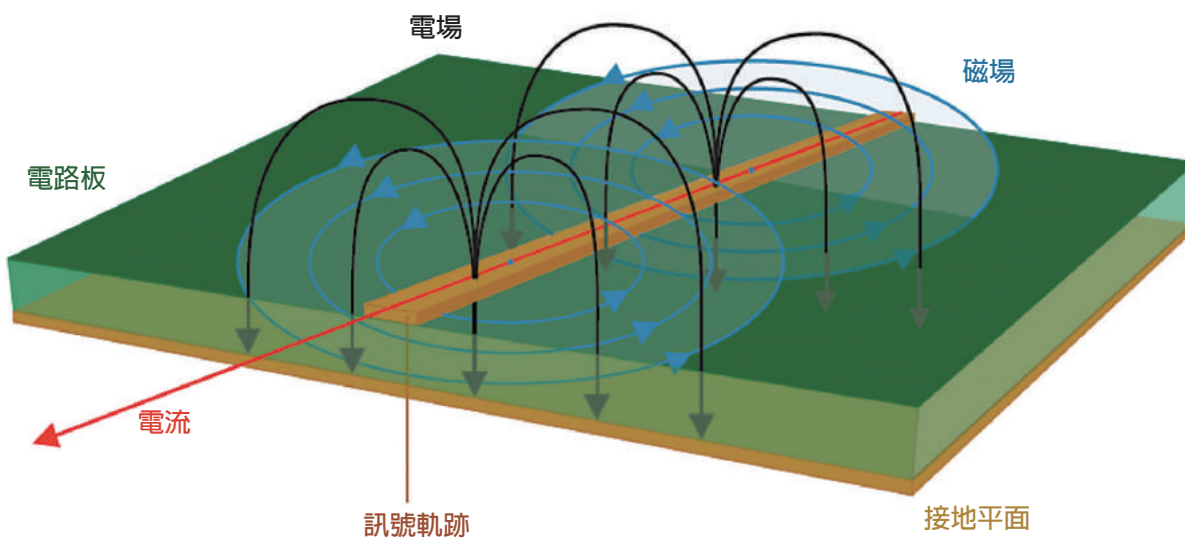


圖 6. 構成訊號的電壓和電流變化時會產生電場和磁場。

磁場探棒

磁場探棒具有獨特的迴路設計，應保持迴路平面與電流成一直線，以使迴路與磁通量的磁力線相交。這樣，在尋找發射時，探棒通常保持在迴路平面 (平行於電路板表面) 的位置。迴路的大小決定了靈敏度以及量測範圍，因此在使用這些類型的探棒隔離能量來源時必須格外小心。近場探棒套件通常會包含許多不同的尺寸，因此您可以使用逐漸減小的迴路尺寸來縮小量測面積。磁場探棒非常適合用於識別電流相對較高的來源，例如：

- 低阻抗節點和電路
- 傳輸線
- 電源供應器
- 端接電線和電纜

電場探棒

電場探棒作為小型單極天線使用，並會回應電場或電壓變化。使用這些類型的探棒時，請務必使探棒垂直於量測平面。實際上，電場探棒非常適合在很小的區域進行歸零，以識別電壓較高的電源以及沒有端接的電源，例如：

- 高阻抗節點和電路
- 未端接的 PCB 跡線
- 電纜

在低頻情況下，系統中的電路節點阻抗會發生很大變化，因此需要瞭解電路或進行實驗，才能確定磁場或電場探棒是否能提供最大的靈敏度。在較高的頻率下，這些差異將會極為顯著。在所有情況下，進行重複的相對量測都很重要，這樣您才可以確信，所實作的任何變更所產生的近場發射結果皆可以準確表示。對於每個實驗變更而言，最重要的考慮因素是近場探棒的放置和方向均要保持一致。

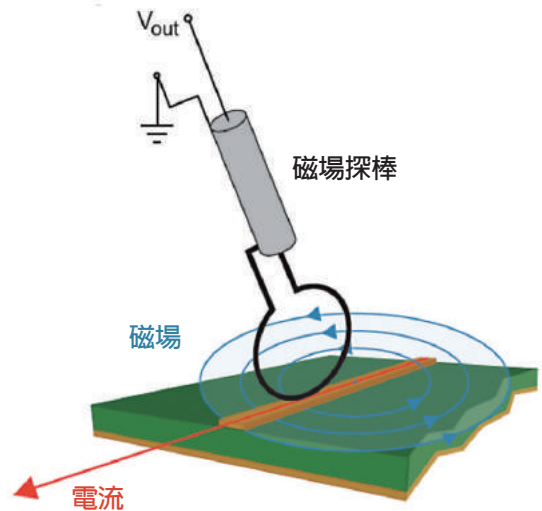


圖 7. 將磁場探棒放置在與電流一致的位置，以便磁場線穿過迴路。

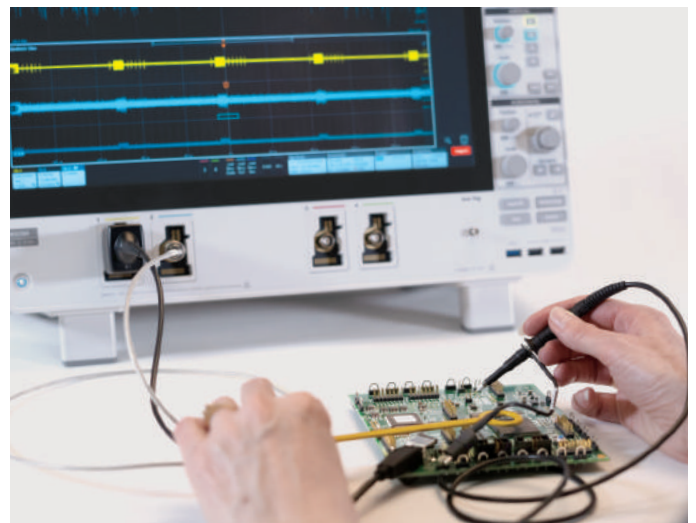


圖 8. 實際應用中顯示的磁場探棒說明了相關方向，可供進行疑難排解。

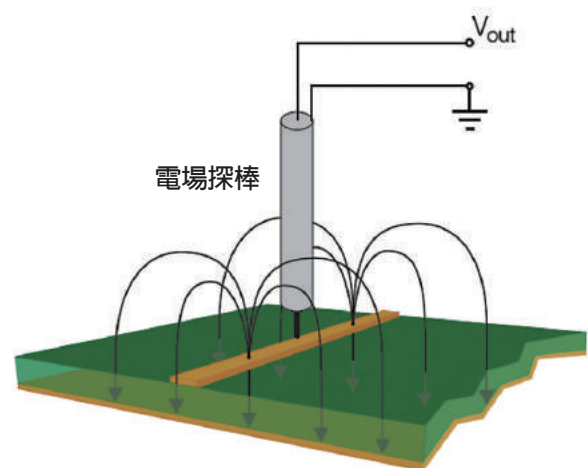


圖 9. 將電場探棒垂直於導體放置以觀察電場。

Spectrum View：新的頻域分析方法

4、5 和 6 系列 MSO 提供了查看同步在一起的類比訊號特性、數位時序、匯流排交易和頻譜的能力。

與傳統的 FFT 方法相較下，由下一代 ASIC 技術所支援的 Spectrum View 具有以下優勢，可以更徹底地解決射頻量測難題：

- 支援使用熟悉的頻譜分析控制功能 (中心頻率、跨距和 RBW)
- 允許分別最佳化時域和頻域顯示
- 提高頻譜顯示的更新率
- 顯著提高頻域中可實現的頻率解析度
- 可在波形視圖和頻譜視圖中查看訊號，而無需分割訊號路徑
- 輕鬆調查頻域視圖如何隨時間變化以及整個擷取過程
- 利用射頻與時間觸發功能，輕鬆、準確地關聯時域事件和頻域事件

Tektronix MDO4000 系列具有類似的功能，但由於有專用的頻譜分析儀輸入，因此具有額外的頻率範圍和動態範圍。但是，與 4/5/6 系列 MSO 相較，僅頻譜分析儀輸入可用於射頻分析。3 系列 MDO 還提供了可用於射頻分析的內建頻譜分析儀，但無法同時取得或查看頻譜和時域波形。

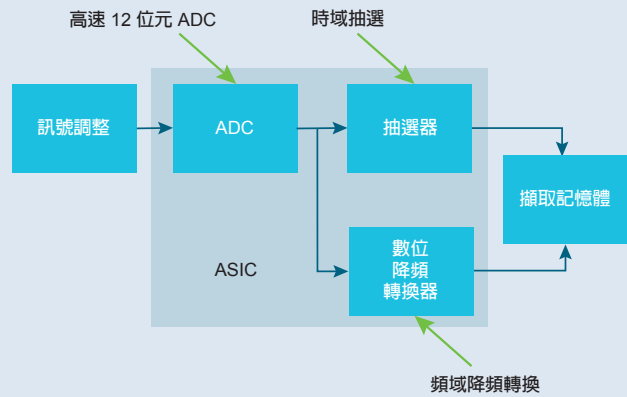


圖 11. 在自訂 ASIC 上實作的數位下變頻器可透過 Tektronix 4、5 和 6 系列 MSO 的獨立控制功能提供同時的波形和頻譜視圖。



圖10. Spectrum View 可讓您在同一個螢幕上查看時間、頻率和振幅，並且每個域均有唯一可用的量測資料。

案例研究：確定訊號特性和一致性 以確定訊號來源

本案例研究將說明收集證據以隔離 EMI 來源的處理流程。小型微控制器的 EMI 掃描指示，似乎是一個以 140 MHz 為中心的寬頻帶訊號出現超限故障。

使用 6 系列 MSO 上的 Spectrum View (圖 12)，將磁場探棒連接至射頻輸入，以便可以定位能量來源。

請務必調整磁場探棒的方向，使迴路的平面與要評估的導體在一條直線上，從而對迴路進行定位，以使磁通量的磁力線穿過迴路。將磁場探棒在 PCB 周圍移動，可以定位能量來源。透過選擇較窄的孔徑探棒，可以將搜尋集中在較小的區域。

找到潛在的能量來源後，可以使用射頻振幅與時間的關係曲線 (圖 13) 來收集更多資訊。此曲線顯示了跨距中所有訊號的整合功率與時間的關係。在圖 13 中，可以清楚地看到較大的重複脈衝。透過在擷取的記錄長度中移動頻譜時間，

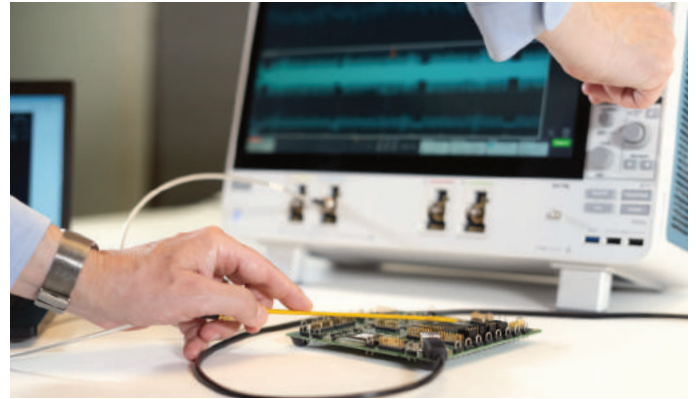


圖 12. 測試設定結合了類比電壓與時間的波形，以及混合訊號示波器上獨立可調整的頻譜分析軌跡。

現在可以看到 EMI 事件 (即以 140 MHz 為中心的寬頻帶訊號) 直接對應於大脈衝。為了量測脈衝重複週期，您可以啟用量測標記並直接確定週期。此時，利用 Spectrum View，可以輕鬆觀察暫態發射的持續時間和重複間隔。此資訊可能足夠協助設計人員確定原因，但您可以進一步進行相關的疑難排解工作。

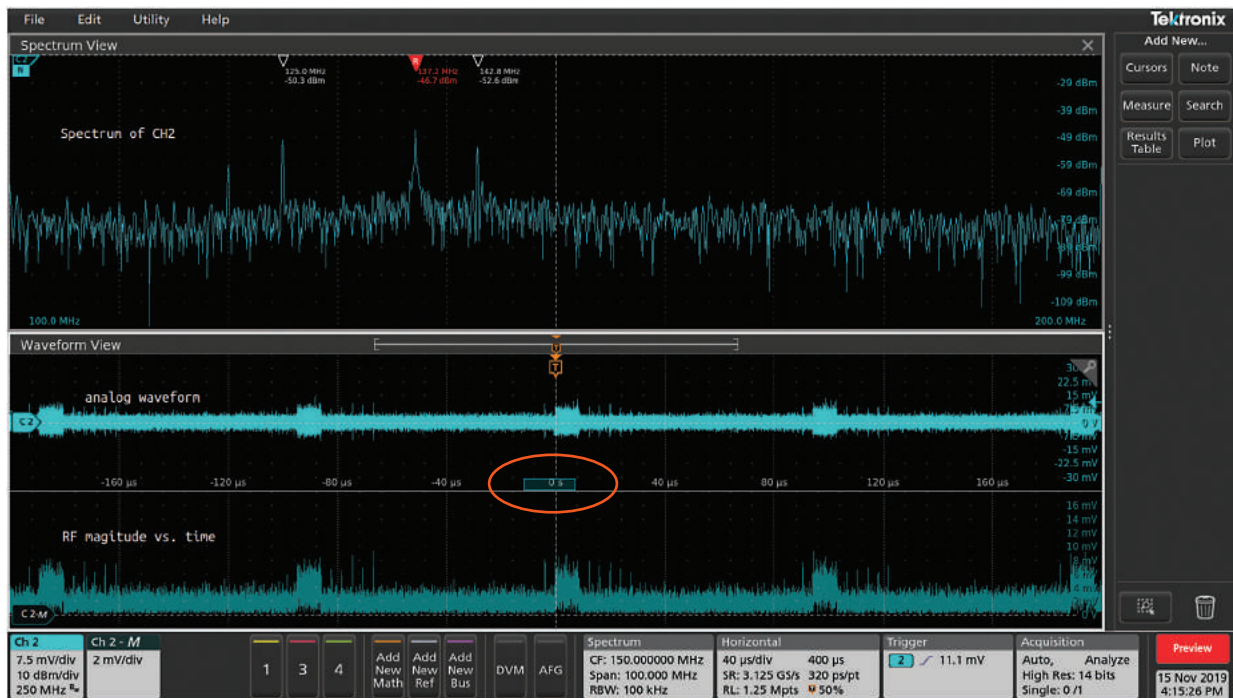


圖 13. 中心軌跡是來自磁場探棒的時域波形。頻譜視圖 (頂部) 顯示了與頻譜時間相對應的頻率內容，該波形時間由波形下方的藍色方框 (橙色圓圈) 指示。射頻振幅與時間的關係曲線 (底部) 顯示了重複的射頻突發。



圖 14. 在通道 1 (黃色) 上用被動式探棒探測訊號會發現與射頻 (藍綠色) 相關的訊號。

積極確定 EMI 來源的下一步是利用 6 系列 MSO 示波器上的另一個通道。保持相同的設定，您現在可以啟用示波器的通道 1 並瀏覽 PCB，以尋找與 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，發現了圖 14 中的訊號。在示波器的顯示幕上可以清楚地看到，我們在示波器的通道 1

上連接的訊號可以直接與 EMI 事件相關聯。此時，使用 4/5/6 系列 MSO 中的射頻與時間觸發功能，在確認同時存在通道 1 訊號行為後，在射頻與振幅通道上建立觸發，即可透過在更長時間內的即時擷取功能快速確認違規行為。(圖 15)



圖 15. 在射頻上觸發 (振幅 vs 時間)，觸發射頻能量並觀察同時發生的電氣事件。

儀器類型	機型	應用	主要特點
示波器	MDO4000C	EMI 疑難排解	<ul style="list-style-type: none"> • 專用頻譜分析儀 • 射頻與時間相關的裝備
示波器	4/5/6 系列 MSO	EMI 疑難排解	<ul style="list-style-type: none"> • Spectrum View 整合式數位降頻變頻器 • 射頻與時間相關的顯示
頻譜分析儀	RSA306B、RSA500 系列	EMI 預相容性和疑難排解	<ul style="list-style-type: none"> • 準峰值偵測 • 即時顯示頻譜特性 • 適用於大多數 EMI 標準的預相容軟體

結論

如果 EMI 相容性測試失敗，可能導致產品開發時間表陷入不確定的風險。但是，此處概述的疑難排解技術將可協助您隔離能量來源，進而可制定修復計劃。若要有效率地進行疑難排解，您需要瞭解相容性測試報告，以及相容性測試和疑難排解如何採用不同的量測技術。通常，這取決於尋找相對較高的電磁場，確定其特性，並將場活動與電路活動相關聯以確定來源。

Tektronix 提供了多種解決方案來協助進行 EMI 疑難排解，如下表所示。請聯絡當地的客戶經理或造訪 www.tek.com 以瞭解更多資訊。

Tektronix 聯絡方式：

澳洲 1 800 709 465
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) 3759 7627
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
印度 000 800 650 1835
印尼 007 803 601 5249
義大利 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
馬來西亞 1 800 22 55835
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭 00800 2255 4835
紐西蘭 0800 800 238
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
菲律賓 1 800 1601 0077
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
新加坡 800 6011 473
南非 +27 11 206 8360
西班牙 00800 2255 4835
瑞典 00800 2255 4835
瑞士 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2656-6688
泰國 1 800 011 931
英國/愛爾蘭 00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200
越南 12060128
最後更新日期 2018 年 2 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



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。

2020 年 4 月

48T-61644-1

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix®