

37C 跳頻無線電機 EMP 防護天線 匹配器原理之研究

作者／曾子軒少校

提要

- 一、電磁脈衝攻擊將使國軍面對更難應付的電子作戰局面，其影響 C⁴ISR 的方式有很多種，例如燒毀容易損害的電子元件，破壞無線電傳導的路徑，在電腦系統中引導出資料匯流的錯誤，甚至破壞電子裝置本身的防護系統等，可能使數百至數千公里內的所有電子系統看似外觀完整，卻無法正常運作，形成一個電子失效區，使得無電子防護能量的先進武器系統完全失效，發揮不了攻擊作用。
- 二、中國人民解放軍在「打贏資訊化條件下局部戰爭」的戰略思維指導下，未來可能利用電磁脈衝（Electro-magnetic Pulse, EMP）武器作為攻台作戰中，奪取制電磁權的電子戰手段，國軍應整體規劃，持續建置電磁脈衝防護相關設施與設備，及培育專業人員，並規劃期程，逐年執行，以發揮有效戰力。
- 三、不論任何軍種或任何兵科，全員需藉由正確的電子防護觀念與運用手段，使具有電子防護能量的設施跟電子設備發揮功能，於未來可能發生的電子作戰中有效運作，發揮防護裝置效能，並期望未來後續建軍各式電子裝備的標準，均能將電磁脈衝防護基準納入規範，以防敵人與時俱進的電子戰技術。

關鍵詞：電子戰、電磁脈衝攻擊、EMP。

前言

電磁脈衝攻擊能造成高科技電子及通信設備的相關元件毀損或傷害，使得雷達、資訊設備、通信網路及指管中心等 C⁴I 相關設備的敏感元件遭受摧毀，造成作戰效能的喪失。狀況一旦發生，政府中樞與軍隊核心的運作會因越先進的資訊化而遭受嚴重的癱瘓，整體作戰指揮機制變得又盲又聾及全啞，導致無法有效防禦敵人之攻擊。因此，有關電磁脈衝的運用與防護，已成為各國國防科技持續研究的重點。本文藉探討電磁脈衝的原理，以及我國軍現有的電磁脈衝防護能量，進而探討防護匹配器的原理及運用方式，並將未來可能之電磁脈衝防護作為發展加入探討，期望能提升國軍戰時存活率，同時瓦解敵人奪取制電磁權之企圖，以有效維護國家安全。

電磁脈衝攻擊原理

一、電磁脈衝原理

電磁武器是一種以電磁波的形式，對電力線、有線電、無線電、雷達系統、通訊系統等設施進行破壞，進而癱瘓敵方整個指揮、管制、通訊、情報系統的先進裝置。根據波長的差異，電磁波的運用層面也不同，中低頻段的通信或高頻段的雷達或衛星，皆有射頻訊號的產生。在此所指的電磁波武器通常主要是針對運用射頻的相關武器。目前正在研製的電磁波武器有微波波束武器和電磁脈衝武器，又稱為高能微波武器(High Power Microwave, HPM)或電磁脈衝彈(Electromagnetic Pulse Bomb, E-Bomb)等兩類。所謂電磁脈衝，有別於電磁干擾(Electro-magnetic Interference, EMI)，是一種脈波式變化的瞬間高能量電磁干擾，在極短時間內上升，以電磁波的形式，將強大能量(10^8J 或 50KV/m 以上)由爆點傳至遠處。行進中對電子、資訊、電力、光電、微波等裝備設施產生破壞，致使指揮、管制與通信任務無法遂行。但對人體沒有直接造成傷害，會使廣大範圍內的電子儀器全部或部分零件造成永久性的損害，能使所有的通訊系統、雷達、資訊等設備燒損或短路、瞬間無力化，更能立即切斷高度現代化軍隊 $C^4\text{ISR}$ 指管系統，讓各種電子設備武器瞬間變成無用武之地。¹

(一)核爆型電磁脈衝

核爆型武器利用核彈或核反應爐所釋放的巨大能量，有許多不同用途，誘發或驅動產生高能的雷射光束、粒子束、電磁脈衝、等離子體等，可以沒有方向性地展開，或是將其定向發射，有選擇地攻擊目標，具有可控的特殊殺傷破壞功能。60 年代中期在核爆效應下產生的電磁場發現電磁脈衝。核彈核爆時，除了產生輻射塵、熱浪和震波外，會產生 γ 射線和 χ 射線以光速由爆點向四周輻射，與空氣中的氧、氟原子撞擊產生電子，形成的強大電磁場(即電磁脈衝)，對軍用和民用電子、資訊、通訊系統破壞效應巨大，堪稱 $C^4\text{ISR}$ 系統超級殺手，²此一從核爆到電磁脈衝產生的效應，通常稱為康普頓(Compton)效應。低當量核彈頭配備於彈道飛彈，若於大氣平流層引爆，將可產生高空核爆電磁脈衝(High-altitude Electro-magnetic Pulse, HEMP)，大範圍的癱瘓地面通資電系統。按學理分析，HEMP 的能量絕大部分(約 99%)集中於 100MHz 以下頻段。HEMP 引起大氣電離層變化，其效應類似於太陽磁爆引起的電離層變化；火球與核輻射可使大氣層電離層發生變化，干擾電磁波的傳播，這種效應的強度和持續時間也受到核爆炸當量與爆炸高度的影響。依據美國國防部於 1977 年「The Effect of Nuclear Weapons」研究報告顯示，一顆百萬噸級當量核子彈爆炸後，高空核爆電磁脈衝輻射能量可達到 10^{18} 爾格或 10^{11} 焦耳。³

¹ 啟元，〈Break the Myth of Chinese EMP Weapon Attack Taiwan〉，http://wwwlmc.org.tw/Htm_F/defenceZ.htm，2016 年 1 月 4 日。

² 林炯志，〈電磁脈衝〉《陸軍學術月刊》(桃園)，第 40 卷第 467 期，國防部陸軍總司令部，民國 93 年 10 月，頁 12。

³ 陳文禮，〈電磁脈衝理論基礎及防護作為訓練教材〉《CSIST-SWEMP-98T1》(桃園：中山科學研究院)，民國 98

(二)雷擊電磁脈衝

雷擊電磁脈衝(Lightning Electro-magnetic Pulse, LEMP)的產生，原是一種自然現象，當空中帶電雲層堆積時，與地面間電場強度超過特定臨界值，就會產生局部的空氣絕緣崩潰，此一崩潰產生一個雲塊與地面之間瞬間大電流導通的路徑，並在路徑附近感應出高強度的雷擊電磁脈衝，⁴營區或陣地設施場所位置和暴露程度，將決定雷擊電磁脈衝威脅之危險性。當場所處於高雷閃密度地區時，其危險性自然提高，因該建築物無論雷電直接擊中電力線，或附近雷擊之電磁感應耦合到電力線之突波，均會造成相當程度之破壞。當建物位於集結地區，雷電直接擊中架空纜線，或附近雷擊之電磁感應耦合突波，能量會與其他用戶並聯分攤，其感應之雷突波振幅自然降低。但其突波保護之要求仍然重要，因為這些場所仍有來自其他來源之暫態之危險。

(三)電磁脈衝彈、高能微波武器

近年來，核子產生 HEMP 之外的電磁攻擊研究逐漸萌芽，一般稱為 E-bomb 或電磁脈衝彈頭。此種彈頭利用化學物質爆炸產生的能量，轉換成微波頻段的大功率電磁脈衝能量後，經由指向天線射向目標，可小範圍摧毀電子設備。有關的研究稱為高能電磁脈衝(High-Power EMP 或是 HPEMP)產生技術。將成為未來戰爭的重要武器之一。另外有一種可產生巨大電磁場之武器，名為磁通量壓縮產生器(Explosively Driven Magnetic Flux Compression Generator, FCG)。FCG 是一種可在幾十到幾百微秒內產生百萬焦耳能量峰值電能的裝置。而這種裝置非常簡單。起爆前由裝置內部能源提供一定的電流讓 FCG 爆炸前具備一定的電磁通量。此電流越大，爆炸後產生的電流強度就越大，當啟動電流達到峰值時，炸藥起爆的爆炸將鋼管膨脹成 12~19 度之錐角，當鋼管與傳輸線圈接觸時產生短路，中斷啟動電流。隨著爆炸衝擊波持續前進，這種持續前進的短路將不斷壓縮線圈電磁場，並且讓線圈內電流狂升，直到整個 FCG 崩潰。它的工作原理是利用爆炸產生之機械能轉換為電磁場，這方面美國一直處於 E-bomb 研究的先鋒。雖然這項研究工作屬於高度機密，多數學者預測，未來新一代 E-bomb 將利用高溫超導體創造更強大的磁場，⁵人為電磁脈衝武器系統與高空核爆電磁脈衝之不同處，是微波頻段之波長極小，只要裝備系統的機匣(櫃)縫隙稍大，微波電磁脈衝就可以通過縫隙鑽進去，直接干擾或癱瘓電子電路板上 IC 半導體晶片，例如：場效電晶體、反向器、低雜訊放大器等運作。人為電磁脈衝武器之作戰運用，本質上已經突破干擾概念，而是要對目標產生全面性壓制或破壞的效果。進行破壞攻擊時，並不需確知敵方裝備的重

年 2 月，頁 22。

⁴ 蔡德平，〈電磁脈衝工作原理與模擬〉《新新季刊》(桃園)，第 27 卷第 5 期，中山科學研究院，民國 88 年 10 月，頁 157。

⁵ 彭政雄，〈鞏固台灣命脈打贏第三波戰爭-全面提升國軍電磁脈衝防衛能力〉《國防雜誌》(桃園)，第 21 卷第 5 期，國防大學，民國 95 年 12 月，頁 188-189。

要參數，藉由破壞與摧毀敵方目標內的電子線路、元件或次系統，而產生持續且永久性的效應；即使敵方的裝備並未處於操作狀態，也可對其產生破壞效應，人為電磁脈衝武器的發射峰值功率通常在 100 萬瓦以上，它由微波元件、高頻率微波產生器、天線裝置、電磁波定向發射裝置和控制系統組成。只要目標處於其微波頻率的覆蓋範圍內，都會因受到其攻擊而喪失作戰效能。配合特殊大型之高強度增益天線，高能微波武器對目標能形成殺傷作用的電磁脈衝，其有效輻射功率可達 10GW 以上。⁶

二、當前敵情研析

中國大陸自 1964 年首次實施核子試爆後，即對電磁脈衝效應有相當的體驗，當時總參謀部通信部已成立專責單位，根據歷次核試資料，就空中核爆對通信電子系統之影響作深入研究。80 年代中國大陸為進一步取得電磁脈衝破壞力試驗數據，總參謀部航天部曾向美國 Maxwell 公司洽購大型電磁脈衝模擬系統，但未獲美國輸出許可；其總參謀部信息部(前通信部)第 61 研究所已研製完成電磁脈衝模擬器，模擬高空核爆所產生的電磁脈衝，以供研究電磁脈衝之破壞力。然為因應未來戰爭，中國大陸除引進先進國家微型核武技術外，並聘請前蘇聯之核武專家，為其研發及改進核武技術。1996 年 7 月，中國大陸完成第一枚微量型核彈試爆（千噸以下），此舉震撼各核武先進國家，並公認共軍已具備電磁脈衝作戰之能力。⁷

2002 年 9 月上市的《新聞周刊》在「2012 大預測」特別號當中預測：「臺灣將成為中國大陸電磁脈衝武器的受害者，這種攻擊將癱瘓臺灣的電子商務。北京可從它低空人造衛星發射一股威力強大、射向準確的電磁脈衝，擊中臺北時，股市、銀行、航空管制塔、電子郵件及網路通通癱瘓，整個下午臺北將陷入一片混亂」。中國大陸 2002 年中華網論壇顯示，中國大陸阿爾法磁譜儀永磁體系統研製領導人孫廣生，於 1986-1988 年間在美國麻省理工學院身為訪問學者時即發表多篇論文，其中「電磁脈衝干擾彈可行性研究」於 1996 年獲解放軍科技進步三等獎。「電磁脈衝干擾彈」就是所謂的「電磁脈衝彈」，從資料顯示高功率微波武器的研究從 90 年代即已開始，目前應已研製成功，預判其威力與美國的同類武器相仿，主要目的在打擊臺灣的地面防空導彈群，大面積壓制對空電磁跟蹤能力，直接摧毀及干擾在核爆中心附近的相關電子設備，包括雷達及導彈，為其空軍進行後續精確轟襲做有效之保障。⁸

中國大陸人民解放軍的核武戰略思維歷經三次演變，從早期的「心理核威懾」、近期的「實用核威懾」，到 2000 年起進入的「動能核威懾」階段。中國大陸在每一個階段，對使用核武都有不同的戰略想定，前兩個階段在戰略和戰術上均強調被動出擊，

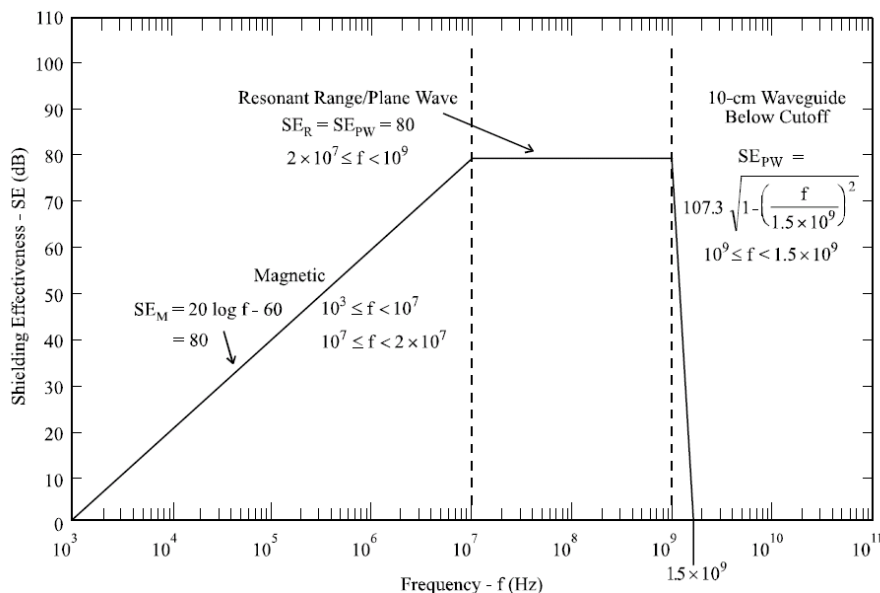
⁶ 同註 3，頁 31。

⁷ 陳勝昌，〈電磁脈衝運用及防護之研究〉《陸軍學術雙月刊》(桃園)，第 45 卷第 505 期，國防部陸軍司令部，民國 98 年 6 月，頁 8-9。

⁸ 同註 5，頁 186。

最新階段則因應美國戰術核武的調整，而不排除在一定條件下先發制人。為達到先發制人的威懾效應，中國大陸近期的核武發展排除大規模報復原則，把核武研製方向朝單一能量的釋放彈頭為主，包括以釋放高能中子輻射為主要殺傷因素的中子彈，或僅強調釋放高能 EMP 彈等。美國國防部已有資訊表明，中國大陸不僅具備核爆可控當量之 EMP 彈頭，並積極研發包括高功率微波武器等「新概念武器」。⁹美國 2007 年解密文件中指出¹⁰，解放軍可能運用東風 15、21 型中程彈道導彈搭載弱核爆電磁脈衝彈頭實施攻擊，但近期情資顯示，2016 年 1 月解放軍搜購大量二手老舊電腦，參與某軍區部隊演習，演習中使用疑似新型高空熱氣球電磁脈衝武器，並於演習結束後將電腦挖大坑埋入¹¹，據此研判，解放軍已將電磁脈衝攻防運用納入部分演訓中，而且一改各國情報單位研判解放軍會運用戰術導彈投放進行電磁脈衝攻擊，可能是在為超限戰做一種規劃，值得國軍提防。

圖一 MIL-STD-188-125電磁脈衝防護基準



資料來源：MIL-STD-188-125-1,2, "Department of Defense Interface Standard," part1 and part2, USA DOD, July, 1998, p.98.

電子防護技術探討

一、國軍防護標準

國軍電磁脈衝防護標準是以美軍的軍事防護標準基礎（MIL-STD-188-125¹²，MIL-STD-461E¹³，MIL-STD-2169B¹⁴，MIL-STD-100¹⁵等）而訂定（如圖一），並且以符合美

⁹ 同註 5，頁 186-187。

¹⁰ 〈電磁脈衝武器及其防禦〉《PCHOME 個人新聞台》，<http://mypaper.pchome.com.tw/souj/post/1285975145>，2016 年 10 月 6 日。

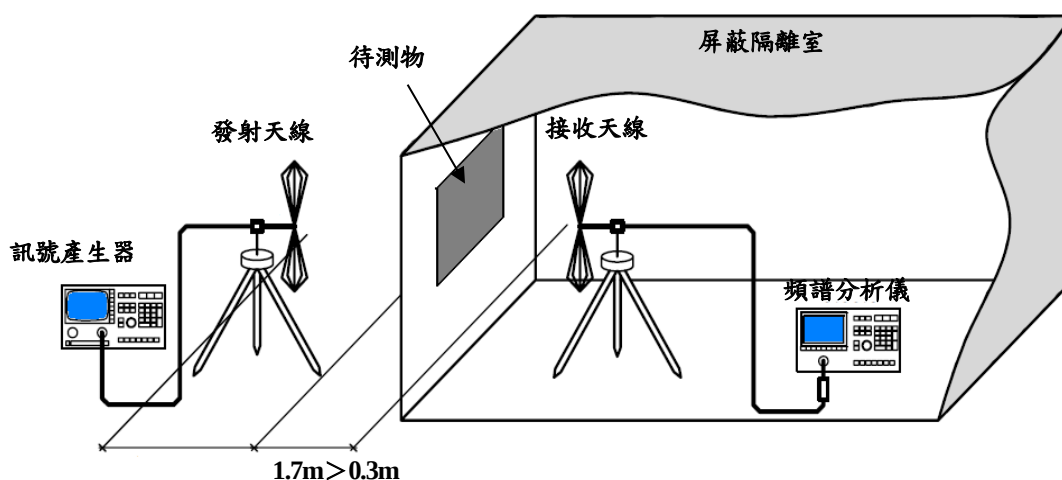
¹¹ 〈中國大陸試爆電磁脈衝彈〉《國防新聞網》，http://www.ewmib.com/news.php?news_id=28&cate_id=3，2016 年 10 月 6 日。

¹² MIL-STD-188-125-1,2, "Department of Defense Interface Standard," part1 and part2, USA DOD, July, 1998.

¹³ MIL-HDBK-461E, "Requirements for the Control of Electronics of Subsystems and Equipment," USA DOD, 1999.

國電子電機工程師協會(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)的電磁波相關測試環境(IEEE 299)(如圖二)來驗證防護相關元件。國軍各式系統電子防護驗證方式區分室內型及室外(如圖三)型，室內型又區分小型(如圖四)及大型(如圖五)的測試環境，可分別驗證小型及大型軍用裝置或載台的防電磁脈衝效能測試；室外型可用以驗證固定式建築或大型飛行載具及船艦等，並將儀表量測之數據量化分析，並驗證結果(如圖六)，藉以檢視是否與規範相符。目前國軍部分設備有通過中科院的測試評估，來確認設施或設備的防護能量是否符合上述標準。

圖二 IEEE 299測試規範



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

圖三 電磁脈衝防護室外模擬驗證

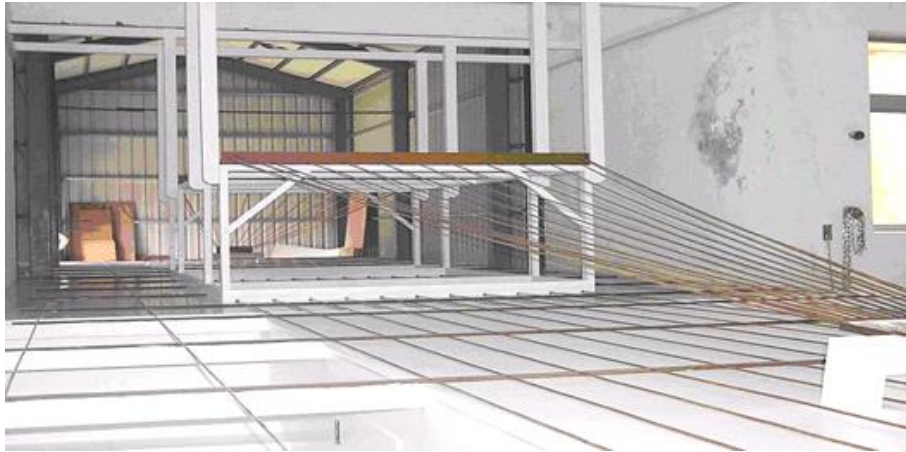


資料來源：中科院資通所通信組 2012 年教育訓練資料。

¹⁴ MIL-STD-2169B, "High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Environment," USA DOD, 1999.

¹⁵ MIL-STD-100, "Engineering Drawing Practices," American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1999.

圖四 電磁脈衝防護室內測試場



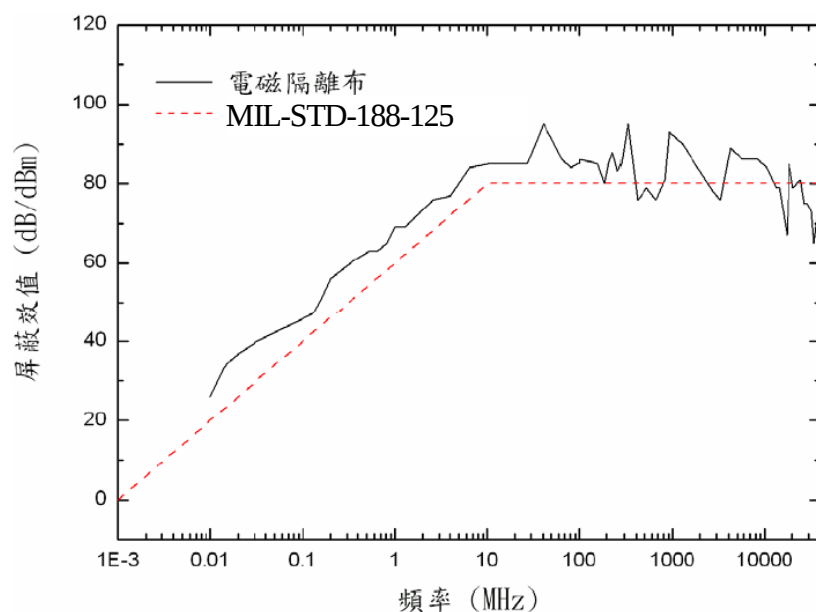
資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

圖五 電磁脈衝防護大型室內測試場



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

圖六 防護裝備電磁脈衝驗證測試結果



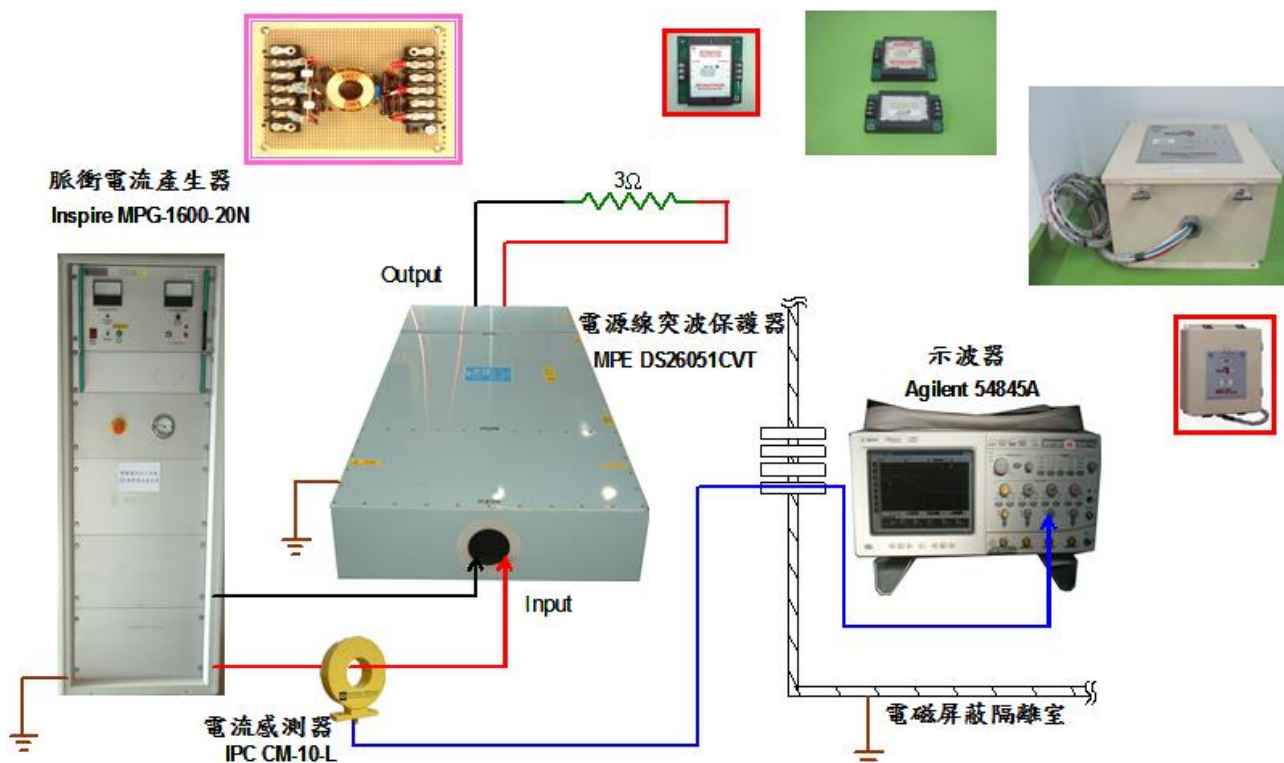
資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

二、現有防護技術

(一)電源系統防護技術

圖七為電力系統防護相關元件，主要運用在固定式設施的外部電力進入內部的介面部分，裝置可將電源突波超過防護元件額定額度濾除，搭配良好接地，可依規格不同防範數千至數萬伏特電壓，僅留下系統可負載之電壓電流通過(110 及 220 伏特)，藉以保護電力系統相關元件，確保從電力供應源頭至各電源使用端的各級裝置，不因能量過載(Over Lording)而燒毀部分單元，造成全系統無法運作。

圖七 電力系統防護技術

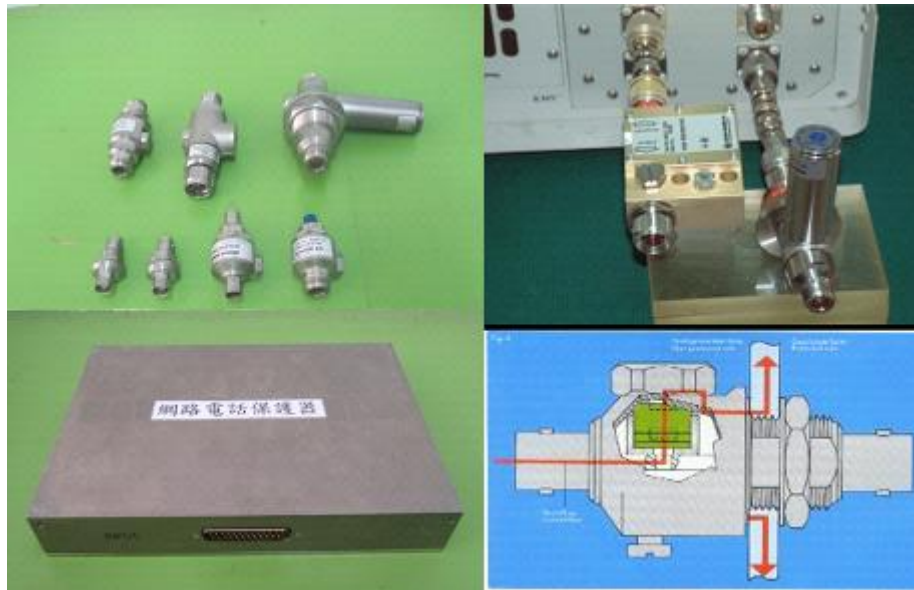


資料來源：中科院資通所通信組提供。

(二)訊號設備防護技術

圖八為訊號設備防護元件，原理及使用目的類似上述電力系統防護相關元件，但是防護目標為各式訊號源，如網路線、電話線及射頻導線等，針對網路設備、通信設備及各式射頻設備的攻擊訊號予以限壓濾波，使系統容許範圍之訊號進入，並非完全阻隔，而是仍可正常工作，運用層面多元，並可運用於固定式設施、建築物的訊號接頭，或是各型移動式載台的訊號端點，其原理及技術層面相當高，須配合相關測試條件(如上一段所述 IEEE 299 測試標準規範)及儀表才可測評元件的有效性。本研究之主題 EMP 防護天線匹配器也屬訊號防護元件一種，詳細原理於後續介紹。

圖八 訊號設備防護技術



資料來源：作者攝製。

(三)其他防護技術

電磁脈衝防護的較佳作法是多層防護，所以在訊號端點防護元件之前，於固定設施的進出介面可再加上管線防護相關元件(如圖九)，重點技術在於金屬導電材質的運用並配合良好之接地，並將管道間隙運用金屬細絲充填，以達到電波阻絕及引導接地等多重方式運用。

圖九 管線防護技術



資料來源：作者攝製。

圖十為固定式設施進出通道的門，門的本體運用金屬材質，並於縫隙處採用金屬簧片密合技術，來達到電波屏蔽的效果。此元件如於敵人 EMP 攻擊時緊密關緊才能發揮作用，開啟則無法有效防護設施內部。

圖十 電磁屏蔽門技術



資料來源：強普科技股份有限公司教育訓練資料，<http://www.champrotek.com/about.htm>，2016年1月16日。

圖十一隔離窗運用於固定式設施的採光部分，並以金屬網夾層及雙表面塗膜技術，搭配接地將攻擊能量有效阻絕並疏導至地面。隔離布可運用於小型重要元件防護，運用金屬網織層加鋁箔多重防護攻擊能量。磁密條運用金屬網層加彈性橡膠可將門、窗縫隙予以填滿，使之密合。防護塗料可運用於設施、載具非金屬材質之部分，於外部塗上後可以有金屬屏蔽效果，或是設施或載具為金屬材質但未達防護標準，可運用途料強化補強，屬於強化輔助型元件，目的將現行使用未達防護規範的設施、設備，提升其電磁脈衝防護能量。

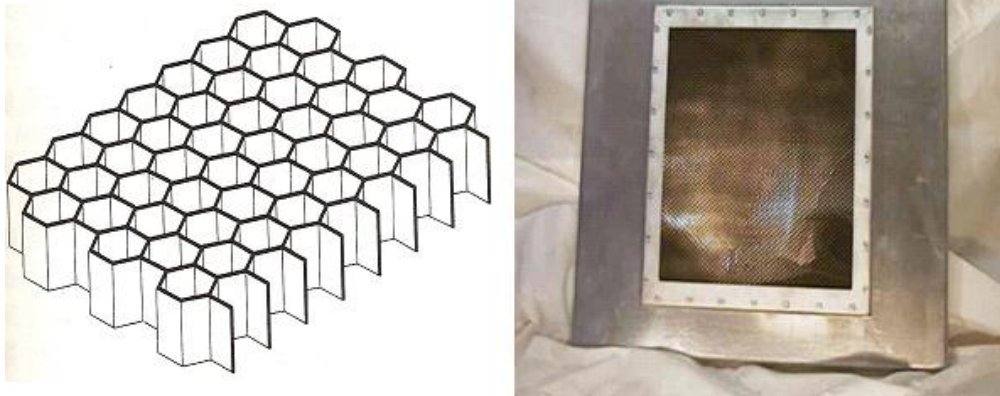
圖十一 隔離窗、隔離布、磁密條、防護塗料



資料來源：作者攝製。

圖十二為蜂巢式空氣濾波網(Honeycomb)，也就是通風網，運用於屏蔽建築物內外的空氣流通，以及空調的進出氣孔使用。

圖十二 蜂巢式空氣濾波網



資料來源：強普科技股份有限公司教育訓練資料，<http://www.champrotek.com/about.htm>，2016年1月16日。

無線電機天線匹配器介紹

一、天線匹配器原理

為了讓無線電機、射頻導線與天線之間的傳輸能夠達成最佳傳輸效能，國軍使用之無線電射頻導線(饋線)多數為同軸電纜形式，其特性阻抗值約為 $30\sim 75\Omega$ ，傳輸線本身的阻抗值或是無線電主機的阻抗值與負載(天線之輸入阻抗)阻抗值不一定相等，會造成傳輸率不佳，所以為獲得較佳之傳輸率，在傳輸線與負載(天線之輸入阻抗)之間可設計一電路，使傳輸線特性阻抗與負載(天線之輸入阻抗)阻抗值相同，這種電路設計目的在於匹配傳輸線及其負載(天線之輸入阻抗)，故稱為匹配電路(Matching Circuit)，¹⁶這也為匹配器中的主要電路。

二、現行無線電裝備匹配器探討

國軍現行無線電機多數具有天線匹配器，如高頻(High Frequency, HF)頻段的 174、176 系列(如圖十三)及 RF5000(如圖十四)的匹配器，以及特高頻(Very High Frequency, VHF)的 12 系列(如圖十五)、37 系列(如圖十六)的匹配器，上述的無線電設備於出廠時的規格並未將電磁脈衝防護專門元件納入。換言之，現行陸軍各級(班、排、連、營、旅、作戰區)龐大數量的無線電通信設備均無 EMP 防護能量，所以 EMP 防護天線匹配器的產生(如圖十七)，正是第一款配賦本軍針對無線電機射頻訊號接頭用的國造 EMP 防護元件。EMP 防護天線匹配器是運用在背負型 CS/PRC-37C 跳頻無線電機上，為連接鞭型短天線或魚竿長天線兩款天線使用，組裝方式與一般型匹配器相同。100 年 8 月中科院於電磁脈衝防護大型室內測試場，針對 CS/PRC-37C 跳頻無線電機結合 EMP 防護天線匹配器實施測試(如圖十八、十九)。多部主機及數十次的驗證，多方向、多角度

¹⁶ 黃胤年，《電波傳播與天線》(五南圖書出版公司，民國 96 年 9 月 30 日)，頁 108。

的測試，無線電機性能均能維持正常，證明可有效防範 HEMP 等級的電磁脈衝攻擊，符合 MIL-STD-188-125 規範。但是使用 EMP 防護天線匹配器並非完全無缺點，其介入損耗比原使用之天線匹配器($\leq 1\text{dB}$)些微增加，整體損耗約達 1.6dB。對遠距極限(極弱信號)通信會有些許影響，一般距離通信則無影響。

圖十三 AN/VRC-176無線電機天線匹配器



資料來源：游祥榮，《AN/PRC-174、VRC-174、176無線電機操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國90年11月5日），頁2-10。

圖十四 RF5000跳頻無線電機天線耦合器



資料來源：游祥榮，《無線電機操作手冊(RF-5000HF無線電機)》（桃園：陸軍司令部，民國90年11月5日），頁2-4。

圖十五 AN/VRC-12系列匹配器



資料來源：陸玉珠，《AN/VRC-46、47、49無線電機手冊》（桃園：陸軍司令部，民國90年11月5日），頁2-2。

圖十六 CS/PRC-37C背負型跳頻無線電機匹配器



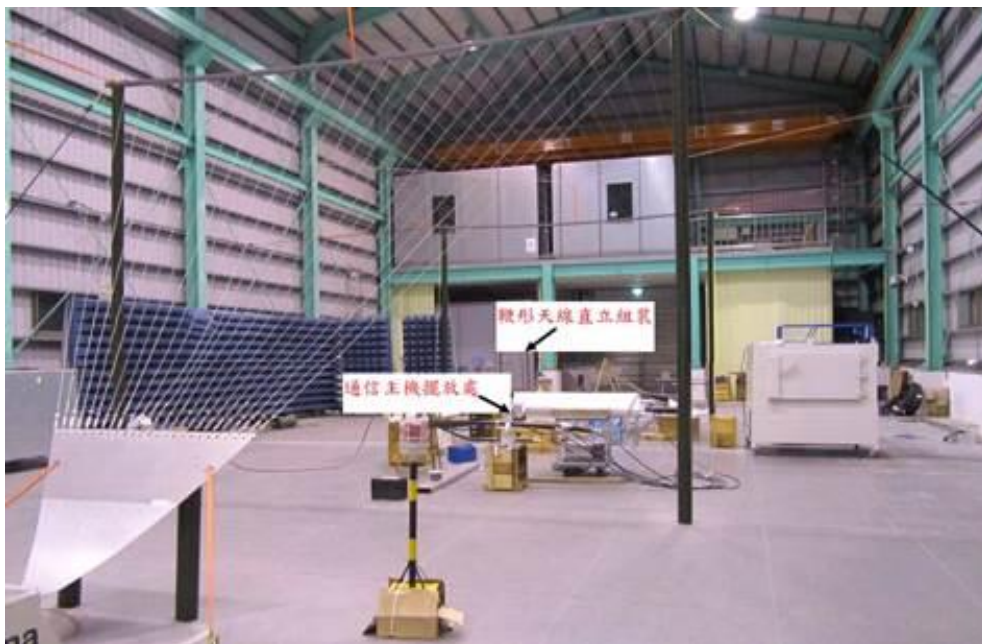
資料來源：詹凱驊，《陸軍37系列跳頻無線電機操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國100年9月7日），頁2-3。

圖十七 CS/PRC-37C背負型跳頻無線電機電磁脈衝防護匹配器



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

圖十八 電磁脈衝防護匹配器測試場景一



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

圖十九 電磁脈衝防護匹配器測試場景二



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

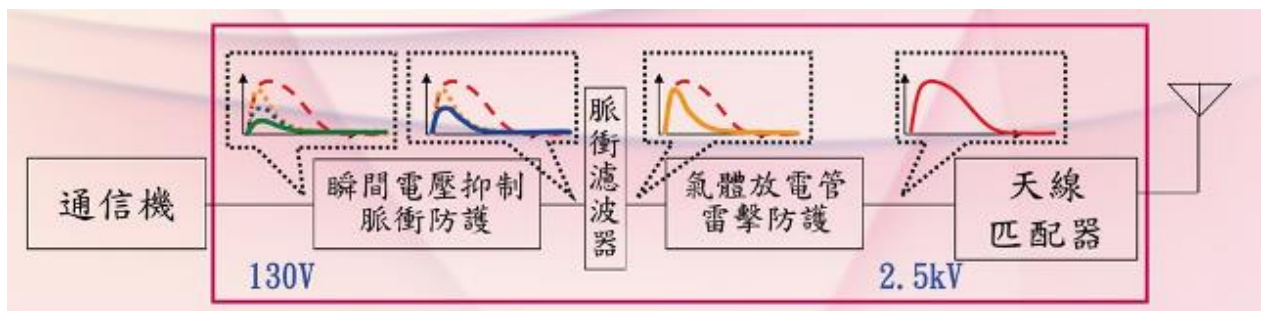
EM P 防護天線匹配器

一、EMP 防護天線匹配器原理

EMP 防護天線匹配器的防護原理採多層防護原則(如圖二十)，包含前端運用氣體放電管(Gas Discharge Tube, GDT)，接續運用瞬態電壓抑制器(Transient Voltage Suppressor, TVS)，接續運用氧化鋅元件(Metal Oxide Varistors, MOV)及後端運用高頻濾波器(High-pass Filter, HPF)等主要元件及其他電路設計，原件間相互搭配。

使整體電路可有效、分層並快速疏導阻絕一定額度的突波，保護後端電路，降低或防止電磁脈衝攻擊的影響，各主要元件說明如下：

圖二十 EMP防護天線匹配器的多層防護原則



資料來源：中科院資通所通信組2012年教育訓練資料。

(一)氣體放電管(GDT)原理

氣體放電管(如圖二十一)由封裝在充滿惰性氣體的陶瓷管中相隔一定距離的兩個電極組成。¹⁷其電氣性能基本上取決於氣體種類、氣體壓力及電極距離，中間所充的氣體主要是氖或氬，並保持一定壓力，電極表面並塗以發射劑以減少電子發射能。這些

¹⁷ 〈陶瓷放電管(GDT)缺點及工作原理〉《優思半導體》，<http://www.unsemi.com.tw/ch/Newsshow.asp?id=112>，2016年1月16日。

措施使得動作電壓可以調整(從幾十伏特到幾千伏特)，而且可以保持在一個確定的誤差範圍內。當其兩端電壓低於放電電壓時，氣體放電管會成為一個絕緣體(電阻 $>100\text{M}\Omega$)。當其兩端電壓升高到大於放電電壓時，產生弧光放電，氣體電離放電後由高阻抗轉為低阻抗，使其兩端電壓迅速降低約幾十伏。氣體放電管受到瞬間高能量衝擊時，能以微秒(μs)量級的速度，將其兩極間的高阻抗變為低阻抗，通過突波電流，由原來的斷路狀態變為近似短路，可以通過很大的衝擊電流，從而將突波電流導引到接地，使放電管連接的其它元件和電路避免受到突波衝擊而損壞。陶瓷氣體放電管優點是通流容量大，極間電容小($\leq 3\text{pF}$)，絕緣電阻值高($\geq 100\Omega$)；缺點是擊穿電壓分散性較大($\pm 20\%$)，反應速度較慢(最快為 $0.1\sim 0.2\mu\text{s}$)，可靠性較差，多次衝擊易老化。

圖二十一 氣體放電管



資料來源：〈陶瓷氣體放電管的原理及應用〉，http://www.chinadmd.com/file/ozrwstixcpxsxrxi6uc63pz_1.htm，2016年1月16日。

目前陶瓷氣體放電管是一般防雷保護設備中應用最廣泛的一種開關元件¹⁸，串聯於防護目標線路中，可用在交、直流電源、各種信號電路的防雷，可以用它來將雷電突波疏導入地表。雖運用於電磁脈衝防護上功率額度可有效滿足，但是反應時間不夠。且 HEMP 作動時間為奈秒(ns)量級，所以氣體放電管需搭配其他後端元件輔助，來補足反應時間的不足。

(二)瞬態電壓抑制器原理

瞬態電壓抑制器元件(如圖二十二)有兩種形式，一是齊納二極體(Zener Diode)型單向擊穿，二是雙向的矽壓敏電阻。¹⁹齊納二極體是擔任元件崩潰後引導電流，使其不至於流入被保護電路的功能。²⁰近年來在電子系統越來越精緻的趨勢之下，對於規格嚴謹穩定的 TVS 元件的需求就越來越迫切。瞬態電壓抑制二極體又稱鉗位型二極體，是目前普遍使用的一種高效能電路保護元件，它的外型與普通二極體相同，卻能吸收高達

¹⁸ 〈陶瓷氣體放電管的原理及應用〉《碩凱電子》，http://www.ruilon.tw/news_view.asp?id=94，2016年1月20日。

¹⁹ 〈常見的浪湧電壓抑制器〉《優思半導體》，<http://www.unsemi.com.tw/ch/Newsshow.asp?id=30>，2016年1月20日。

²⁰ 龔正，〈暫態電壓抑制元件之研究〉《行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告》，民國94年11月30日，頁3。

數千瓦的突波功率，²¹它的主要特點是在反向應用條件下，承受一高能量的脈衝時，其工作阻抗立即降至極低的導通值，進而允許大電流通過，同時把電壓鉗制在額定電壓，其響應時間約為皮秒(ps)量級，可有效地保護電子線路中的精密元件。雙向 TVS 可在正反兩個方向吸收瞬時脈衝功率，並適用於交流電路；單向 TVS 一般用於直流電路，可用於防雷擊、抗干擾、吸收突波功率等，是一種理想的保護元件。

圖二十二 瞬態電壓抑制器



資料來源：〈浪湧電壓抑制器〉《優恩半導體》，<http://www.unsemi.com.tw/ch/Newsshow.asp?id=30>，2016年1月20日。

圖二十三 壓敏電阻(氧化鋅元件)



資料來源：〈壓敏電阻〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A3%93%E6%95%8F%E9%9B%BB%E9%98%BB>，2016年1月20日。

(三)間隙開關元件氧化鋅元件原理

氧化鋅元件 MOV 為壓敏電阻(Voltage Dependent Resistor, VDR)(或稱為 Varistors)的一種(如圖二十三)，具有非線性伏特安培特性的電阻元件，主要用在電路承受過壓時進

²¹ 〈TVS瞬態電壓抑制二極管〉《中文百科在線》，<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?zh=zh-tw&lid=80822>，2016年2月4日。

行限壓，排除多餘的電流以保護敏感元件²²。壓敏電阻的電阻體材料是半導體，所以是半導體電阻器的一種。現在大量使用的氧化鋅(ZnO)壓敏電阻器，它的主體材料由二價元素鋅(Zn)和六價元素氧(O)所構成。壓敏電阻器稱為突波吸收器，有時也稱為突波抑制器。是一種限壓型保護元件。利用壓敏電阻的非線性特性，當過電壓出現在壓敏電阻的兩極間，壓敏電阻可以將電壓鉗制到一個相對固定的電壓值，從而實現對後級電路的保護。壓敏電阻的主要參數有：壓敏電壓、通流容量、結電容、回應時間等。

壓敏電阻的回應時間為奈秒(ns)量級，比氣體放電管快，比 TVS 慢，一般情況下用於電子電路的過電壓保護，其回應速度可以滿足要求。

(四)高頻濾波器原理

濾波器(Filter)用以擷取某特定頻率範圍之訊號，除去不必要之雜訊，於擷取感測元件輸出之類比訊號時常需使用。高通濾波器是容許高頻信號通過，但減低頻率低於截止頻率信號通過的濾波器。²³對於不同濾波器而言，每個頻率的信號減弱程度不同，有時被稱為低頻剪切濾波器。高通濾波器與低通濾波器特性恰恰相反，濾波器濾除一個複雜信號中不想要的低頻成份，同時讓高頻信號通過是很有用的。濾波器的濾波效果好壞係指其衰減停帶頻率訊號的能力，濾波效果愈好的濾波器，停帶訊號被衰減的幅度就愈大。²⁴前述 EMP 防護天線匹配器前端元件將過載能量處理之後，搭配運用高頻濾波器處理匹配器部分射頻訊號，再讓正常射頻訊號進入無線電主機，繼續通訊機制讓電磁脈衝攻擊不影響原本無線電機功能。

二、運用討論

(一)平時運用

EMP 防護天線匹配器於平時也可暫時替代一般型天線匹配器運用，目前部隊各層級部分無線電裝備妥善率不佳，裝備送修已變成為例行性業務，但是各式演訓、基地訓練任務接續而來，裝備妥善率可能不足以支持。有些單位甚至將車裝型天線與背負型天線交叉使用，將背負型無線電機放置桌上，搭配長射頻導線及車裝型天線運用，是不符使用規定的，也無法確認如此搭配天線及主機是否匹配。因此，建議為遂行戰訓任務，此 EMP 防護天線匹配器可以替代一般型天線匹配器運用，許多單位因不瞭解此裝備原理及可運用時機，導致裝備放置庫房閒置，形成浪費，建議可多加運用。

(二)教育訓練運用

各訓練單位(測考單位)如有配賦 EMP 防護天線匹配器，可於無線電組合金型教育訓

²² 〈壓敏電阻〉《百度百科》，<http://baike.baidu.com/view/20826.htm>，2016年1月4日。

²³ 〈高通濾波器〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E9%80%9A%E6%BB%A4%E6%B3%A2%E5%99%A8>，2016年2月14日。

²⁴ 〈陳明周-主動式濾波器簡介〉《元智大學最佳化設計實驗室》，<http://www2.hpu.edu.cn/www2/etc/upload/2012/12/222472520.pdf>，頁2，2016年2月20日。

練或是期末全設施綜合演練之前，由教官先行實施電子防護教育，並結合電子戰訓練，納入年度電子戰教育訓練計畫一環，要求訓員運用，並於各級無線電訓練層層設置狀況處置，強化各級訓練單位瞭解與熟稔該匹配器使用方式，藉由無線電相關教育訓練時機，強化 EMP 防護天線匹配器的運用。

(三)作戰演訓運用

演訓時期視同真實作戰，應將各級被動型防護能量納入演訓運用練習，培養使用習慣，並同時強化各級幹部 EMP 防護觀念，配合演習狀況發布，結合真實狀況演練，藉由統裁部(裁判)誘導，從上而下的逐級訓練，全程配賦 EMP 防護天線匹配器演訓，以達電子防護訓練功效。而台海戰事一旦真的爆發，有極大可能解放軍第一波攻擊為遠距離電子攻擊（弱核爆型電磁脈衝導彈），針對重要政經軍中心實施癱瘓作為，甚或潛伏台灣島內解放軍特攻人員以小型手持式電磁脈衝裝置，於近距離針對本軍指揮所及重要設施實施節點精準打擊。因此，EMP 防護相關裝置並非等到敵人於目視範圍出現才開始運用，而是一但有作戰徵兆，就提前將非固定式防護元件結合戰備整備動作到達定位；而固定式防護裝置不分平戰時，均需持續運作。

未來發展方向

一、VHF 車裝型防護裝置發展

陸軍現行各級通信設備以 VHF 頻段無線電機數量最為龐大，其中車裝型數量(輪型車、履帶型車)遠大於背負型，有了背負型防護裝置的測評經驗，要製造出適合載台型的防護元件並非難事，期望於後續相關建案能將數量龐大的 VHF 車裝型防護元件的開發納入檢討，可大幅提升電子作戰戰場指管能量存活度。

二、HF、UHF 射頻設備防護

相較於 VHF 頻段無線電機數量，HF、UHF 射頻設備數量遠遠不及，但是 HF 頻段無線電機為重要備援通信手段，以及 UHF 射頻設備包含陸空通聯、骨幹通信設備以及雷達、衛星訊號等，少部分設備符合 EMP 防護標準，但仍有許多裝置針對電磁脈衝攻擊需要補強，建議後續維保能量建置或性能提升案時，能將防護能量元件加入。

三、固定式設施防護強化

目前戰略型固定式指揮所均有將 EMP 防護納入標準，部分是於建造前即納入規範，但是部分固定式指揮所則無，需要以後續強化的方式提升防護能量，而所有機動型野戰指揮所也應納入防護計畫，有部分元件可適合野戰指揮所運用，所有指揮所完成建設後，確保指管機制防護能量，緊接著再同步接續建置機動型載台之防護機制。

四、新式電子技術運用

現在常用之電子元件為矽材料雙載子電晶體或場效電晶體，均無法承載數百伏特

以上之突波能量，未來研發方向，若改以氮化鎵(GaN)或碳化矽(SiC)為材料之第一級前端電路，將可耐上千伏特電壓，建議未來建案所有軍規設備的元件標準可提升上述新式元件，於採購製造前，就已將防護基準納入規格，產品獲得時，直接具備 EMP 防護能量。再者，隨著科技進步，會有更能滿足當前作戰需求的電子防護元件發展，可逐步提升現有技術，例如氣體式放電管可疏導之電流電壓大，但反應時間過慢，需要其他元件搭配，未來新式防雷擊電子元件，如有反應速度及電壓電流承載量可高於現有規格，即可取代現行放電管功能，也可納入各級防護元件後續規格訂定。

五、不對稱作戰下輔助防護作為

國軍目前於建軍備戰準備時所遇最大難題，即為資源不足及預算有限問題，假設對於上述四點的整備建置方向皆無法執行時，就必須以現有能量予以整合並充分運用。目前通資電設備平時庫儲都在各級設備庫房，一但國家陷入可能有戰事發生的狀況，敵人的第一波導彈攻擊有極大可能會伴隨弱核爆型電磁脈衝攻擊。所以，部隊進入戰術位置時，除必要攜行裝備及載具固定式裝備外，需將具電子原件之通資電裝備或指管設備的儲存位置，移動至具防範電磁脈衝能量或導彈攻擊之空間，藉以保存通資電戰力。

除了前述部分具備防範電磁脈衝攻擊能量的固定式指揮所外，有些場合也具有天然防範電磁脈衝基礎，例如部分單位具備的掩體，且必須是往山或丘陵地挖掘建造的掩體。因為山或丘陵地的天然覆土層在一定厚度下，可有效阻絕電磁波的穿透；又或是部分軍事碉堡，如北測中心及砲測中心的數座震撼堡，因抗炸用數層厚實的鵝卵石、混凝土及鋼材的阻絕，內部空間完全無法接收電磁波訊號。上述的固定式指揮所、掩體、碉堡等，除非因實體破壞產生缺口導致電磁波可以進入，不然皆可當作具有一定防範電磁脈衝攻擊能量的戰力保存空間。

如果單位完全無上述設施或空間，仍需於作戰準備時實施通資電設備戰力保存，可利用一些金屬屏蔽空間，如大型鐵箱、鐵櫃、鐵桶等，但需要注意的是，置重點於金屬材質厚實度及空間封閉密合，以達減少電磁波突穿或滲入，雖然未經測評驗證防護能量，但可以以現有資源達到最低限度通資電設備戰力保存，防範敵可能之第一波電磁脈衝攻擊。

結論

防護電磁脈衝攻擊需要很高的成本，若未來國軍各項重要建案，包含各級指揮所及設施的採購與建置，包含指管通情裝備，均具有電磁脈衝防護資源的話，國防預算則難以負擔。目前僅有部分指揮機構具有電磁脈衝防護能力，餘戰略層級以下單位僅部分納入規劃外，其他各單位僅能做有限度的防護。因此，國軍在戰時遂行聯合作戰

指揮時，中國人民解放軍的電子作戰能力勢必造成極大的威脅，在此戰略考量下應及早訂定防護能量建置期程目標，逐年分段執行，以符合爾後作戰執行成效。

電磁脈衝的相關攻防技術在各先進國家，推估均有一定程度的研發成果，但礙於相關技術研發不易及極具機敏性，各國對其技術均嚴格控管，使我國軍不容易獲得相關技術。因此，唯有靠本身積極的研發，才能獲得電磁脈衝相關的技術。有鑑於此，我國更應積極從事專業人員的培育，投資更多的資金及心力，期能於電磁脈衝相關裝置研發及防護作為精進上，能有效扼止中國大陸解放軍的攻擊，並進一步實施反制，藉以瓦解中國大陸解放軍對台運用電磁脈衝武器的作戰企圖。

參考文獻

- 一、林炯志，〈電磁脈衝〉《陸軍學術月刊》(桃園)，第 40 卷第 467 期，國防部陸軍總司令部，民國 93 年 10 月。
- 二、陳文禮，〈電磁脈衝理論基礎及防護作為訓練教材〉《CSIST-SWEMP-98T 1》(桃園：中山科學研究院)，民國 98 年 2 月。
- 三、蔡德平，〈電磁脈衝工作原理與模擬〉《新新季刊第》(桃園)，第 27 卷第 5 期，中山科學研究院，民國 88 年 10 月。
- 四、彭政雄，〈鞏固台灣命脈打贏第三波戰爭-全面提升國軍電磁脈衝防衛能力〉《國防雜誌》(桃園)，第 21 卷第 5 期，國防大學，民國 95 年 12 月。
- 五、陳勝昌，〈電磁脈衝運用及防護之研究〉《陸軍學術雙月刊》(桃園)，第 45 卷第 505 期，國防部陸軍司令部，民國 98 年 6 月。
- 六、黃胤年，《電波傳播與天線》(五南圖書出版公司，民國 96 年 9 月 30 日)。
- 七、〈TVS 瞬態電壓抑制二極管〉《中文百科在線》，<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?zh=zh-tw&lid=80822>，2016 年 2 月 4 日。
- 八、〈陳明周-主動式濾波器簡介〉《元智大學最佳化設計實驗室》，<http://www2.hpu.edu.cn/www2/etc/upload/2012/12/222472520.pdf>，2016 年 1 月 4 日。
- 九、龔正，〈暫態電壓抑制元件之研究〉《行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告》，民國 94 年 11 月 30 日，頁 3。