

M109 自走砲車裝通信機電源穩壓器研發技術之研究

作者：黃聖政

提要

- 一、筆者於教學工作中發現，M109 自走砲車液壓邦浦馬達啟動瞬間，造成的電壓驟降現象，有導致裝通信 CS/VRC191 無線電機電源因電源瞬間中斷而跳機的狀況。電壓驟降防範策略甚多，為取得整體的評估及策略考量以提出最有效且最經濟的改善方式，作者藉小型軍品研發時機，主導研究設計「電壓驟降穩壓器」，藉此改善現今車裝通信機因電壓驟降所造成之問題。
- 二、本研究旨在分析及研製改善現今 M109 自走砲通信電源因電壓驟降，導致通信機電源中斷問題。筆者研製的穩壓系統除具電壓補償功能外，並加入「超級電容裝置」，能在液壓馬達啟動造成的電壓降時，瞬時輸出電能，發揮斷電瞬間強化放電、電力輸出及降低蓄電池瞬時放電之突波電流，有效延長蓄電池壽命。
- 三、隨著國軍朝向現代化發展，未來使用高科技裝備必成主要趨勢，敏感性裝置使用也就愈多，但電壓驟降對高科技電子通信設備所造成的損壞亦不容小覷，為有效改善電壓驟降問題，可由電力端、系統端、電力系統與裝備本身對電壓驟降的忍受力等來著手，惟因 CS/VRC191 通信機撥發至部隊已多年，無法再從裝備本身容忍度實施改善，僅能從電力系統實施改良設計，短期而言由砲訓部針對電源系統進行研發與改良最具成效，但長期而言還是應從設備本身提高其對電壓的耐低壓程度，使其不受電壓降之影響，以徹底解決電壓驟降問題。

關鍵詞：液壓邦浦馬達、壓降、電壓驟降、防範策略

前言

由於高科技產業快速發展，許多精密儀器及設備被廣泛使用，使得高科技產業對電力品質的要求較傳統產業嚴苛，其設備對電壓的變動相當敏感，因此，電壓瞬間變動及不穩定，將導致敏感性負載，發生不正常動作的情形，進而導致設備電源中斷。

M109 自走砲車之液壓馬達，在啟動期間，啟動電流約為滿載的 5 至 7 倍，造成電壓突然下降，直至達到額定轉速才恢復正常值，導致 M109 自走砲上 CS/VRC191 通信機因反復的電源中斷，易導致機體故障。筆者針對此問題實施研究，並藉由文獻探討及電路分析之方式以研究出改良策略，設計出適合 CS/VRC191 通信機電源之穩壓器，藉此改善目前 M109 自走砲通信機電源中斷問題。

通信電源概述

通信電源是整個通信系統的「心臟和原動力」，在通信系統的地位非常重要。隨著通信系統的飛速發展，通信設備的不斷更新換代，與以往相較，現代通信設備對通信電源的標準要求比以往還高，以下簡單說明通信設備對電源之要求、通信系統基本組成、接地系統、通信電源分級。¹

一、通信設備對電源之要求

（一）穩定可靠：供電穩定有三個含意，一是對電源設備本身的供電品質而言，電源電壓在市電和設備負載變化時，交直流供電電壓應當穩定，不應產生過大的波動；二是從工程設計角度，電源電壓不能超過允許的變化範圍；三是直流電源電壓中的脈動數值必須低於允許值。供電電壓波動過大，會對浮充的蓄電池造成影響。電源電壓過高，會損壞通信設備的電子元件；電源電壓過低，通信設備不能正常工作。脈動數值過大，會嚴重影響通信品質。

（二）節能高效：高效率即是節能，相比模擬設備而言，一般認為現代化設備耗電量都比較低，其實不然，隨著數位化時代的來到和試驗任務對頻寬要求的提高，及以人們對通信需求的增加，導致對通信設備容量需求的劇增，使得通信設備的用電量日益增加，電源系統的負荷不斷增大，為了節約電能，應設法提高電源裝置的效率。

（三）小型化：隨著數位設備的大量應用，通信設備趨於小型化、集成化。為了適應通信設備的發展，電源裝置也必須實現小型化，集成化。為了減少電源裝置的體積和重量，各種集成穩壓器和無工控變壓器的開關電源已得到普及應用。

二、通信系統基本組成

（一）交流供電系統

通信站的交流供電系統分為兩個部份，一是通信站交流電源，包括變電站供給的市電電源引入（高壓市電或低壓市電）、油機發電機供給的自備交流電源、自動市電油機轉換裝置、低壓配電系統、連接的電力電纜等；二是交流負荷通信電源，包括 UPS 供電系統和穩壓器供電系統及連接的電力電纜等。通信的電源一般由高壓電網供給，為了提高供電的可靠性，通信中心或通信樞紐站一般需要有兩個變電站引入兩路市電，並且用專線引入，一路主用，一路備用。通信站內通常沒有降壓變電室。室內裝有高、低壓配電屏和降壓變壓器。通過這些變、配電設備，先將高壓電源變為低壓電源，然後供給整流器、空調以及照明設備。

¹汪永文，《通信電源》（臺北：國防工業），民國 104 年 1 月。

為不間斷供電，通信站一般配有油機發電機組，尤其在當地不能提供兩路市電的地方。當市電中斷時，通信設備可由油機發電機供電。目前已開始採用無人職守自動啟動發電機組，當市電中斷後，油機發電機能自動啟動，由於市電比油電發電機供電更經濟可靠，在有市電的條件下，通信設備應由市電供電。

（二）直流供電系統

通信設備的直流供電系統由交流配電屏、整流器、蓄電池、直流變換器和直流配電屏以及電力電纜等部份組成。交流配電屏的交流電源由低壓配電系統引入，整流器的交流電源由交流配電屏引入，整流器的輸出端通過直流配電屏與蓄電池和負載連接。由於直流供電系統中設置了蓄電池組，因此可以保證不間斷供電，目前主要應用直流供電方式為低壓恆壓充電供電方式，自走砲車所使用之電源即為直流供電系統。

低壓恆壓充電供電方式是將整流器與蓄電池並聯後，對直流通信設備供電。在發電機正常運作的情況下，整流器一方面給通信設備供電，同時又給蓄電池充電，以補充蓄電池因局部自放電消耗的電量。在並聯浮充工作狀態下，蓄電池還能起到濾波作用。當發電機未啟動時，蓄電池單獨給通信設備供電。由於蓄電池通常處於並聯浮充和充足電狀態，不需要切換裝置，所以發電機未啟動時，可以由蓄電池保證連續不間斷供電。為避免蓄電池組過於龐大，蓄電池組供電時間一般取 2 至 4 小時，且因該方式主要是由車輛本身之發電機發電，在低壓恆壓工作狀態下時輸出電壓較高，在蓄電池單獨供電時，則輸出電壓較低，因此負載端變化也就較大。

三、接地系統

通信電源的交直流供電系都必須有良好的接地裝置，以確保通信質量、通信設備與人身的安全，接地系統大致可區分三種。

（一）交流接地：通信站一般都由三相交流電源供電。為了避免三相不平衡而引起的電壓差過大，三相電源的中性點都應當直接接地，這種接地稱為交流工作接地。接地線一般稱為零線，接地裝置與大地之間的電阻稱為接地電阻。

（二）直流接地：由於通信設備的需要，蓄電池組的正極必須接地，這種接地通常稱為直流工作接地。此外，在直流供電系統中，還常埋設一組供測量的接地裝置，稱為測量接地裝置。

（三）保護接地和防雷接地：

1.保護接地：為了避免電源設備的金屬外殼絕緣損壞而帶電，與帶電部份絕緣的金屬外殼必須直接接地。

2.防雷接地：為了防止因雷電而產生的過電壓損壞電源設備和通信設備，在通信電源系統中，一般避雷器還沒有防雷接地裝置。

3.聯合接地：各類通信設備的交流工作接地、直流工作接地、保護接地及防雷接地共用一組接地體的接地方式，稱為聯合接地方式。這種接地方式具有良好的防雷和抗干擾能力，也比較易於實現。

四、通信電源的分級

不論是交流不間斷供電還是直流不間斷供電系統，都是從市電或發電機取得能源，能源再變換成不間斷的交流或直流電源供給通信設備。通信設備系統再根據電路要通過 DC/DC 變換器或 AC/DC 整流器轉換成多種直流電壓。因此從功能和轉換層次來看，可將整個電源系統化分為三級。

（一）第一級：電源為市電或者油機發電機，這一級是保證提供能源，但是不保證不間斷。

（二）第二級：電源為交流不間斷系統和直流不間斷系統，主要是保證電源不間斷。

（三）第三級：電源為通信設備內部由不間斷直流電源供電的 DC/DC 變換器或小容量直流－交流逆變器以及由交流不間斷供電的整流器。第三級電源提供通信設備內部各種不同交、直流電壓的要求，由插板電源或板上電源提供。板上電源又稱為模塊電源，體積很小，它可像元件那樣直接裝在印制電路板上，由於此項技術組裝的設備系本身沒有單獨的電源插板，屬於分散電源變換系統，使得設備的可靠性和體積、價格得到優化。

電壓驟降及成因論述

一、電壓驟降²

現今許多精密的電子設備儀器、功能強大的自動控制設備及高效能的電氣設備被大量地使用，因應科技發展國軍部隊之通信裝備也提升邁向數位化，設備對高品質供電的依賴與需求也隨之提高。基此，自走砲車供電品質的改善與防制問題亦須重視。電力品質（Power quality，PQ）一詞根據國際電機與電子工程學會（IEEE）所下定義，係指電力系統擾動相對缺失程度，根據國際電氣技術協會（IEC）的定義為在某一電力條件情況下，電力設備或系統的滿意程度。

電力品質問題相當廣泛，有諧波、電壓閃爍、電壓驟降及驟升、斷電、電壓不平衡、電源頻率變動、交流網路之直流成份等等。對於自走砲車電力系統而言，電壓驟降現象為主要發生情況。電壓驟降通常被解釋為當一基頻之有效值電壓降至額定之 0.1 至 0.9 p.u.之間且持續時間在 0.5 週波至 1 分鐘之間，屬於短時間電壓變動的一種，其發生原因主要與電力系統故障（短路）及馬達（電動機）啟動有關。

²蘇俊連，〈船舶馬達啟動引起電壓驟降之模擬分析〉《中國造船暨輪機工學刊》，第二十八卷第四期，民國 98 年 11 月。

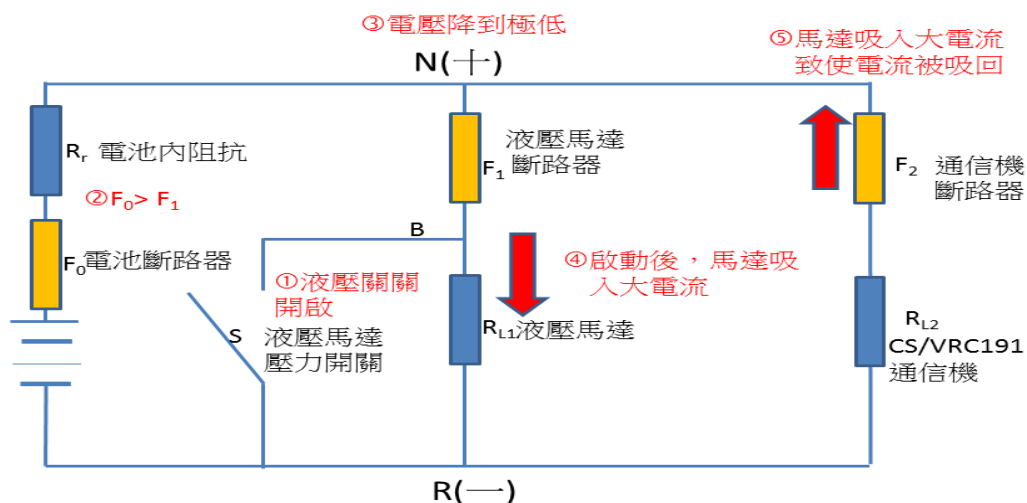
二、自走砲車電壓驟降成因

(一) 馬達啟動之大電流：M109 自走砲車液壓馬達啟動會造成電壓驟降的現象，主要是因馬達啟動吸入相當大的啟動電流所導致；一般馬達啟動電流³多為額定電流的 5 - 6 倍，而持續時間通常由數秒到一分鐘之間，馬達啟動時所產生的電壓驟降大小如公式： $V_{sag} = S_{source} / (Source + B * S_{motor})$

公式中 S_{source} 為電源端的短路容量、 S_{motor} 為馬達額定容量、 $B * S_{motor}$ 為馬達啟動容量。由公式我們可計算出大型馬達啟動時所造成電壓壓驟降後之剩餘電壓的大小。

(二) 砲車配電電路之影響：目前 M109 自走砲配電電路⁴主要採用方式為並聯式接法，其造成電路電壓下降之原因（如圖一），以圖例說明， R_t 為電池內阻抗， R_{L1} 為液壓馬達、 R_{L2} 為 CS/VRC191 通信機； F_1 為液壓馬達斷路器、 F_2 為 CS/VRC191 通信機斷路器， F_0 為電池斷路器，上下 2 條粗線表示總匯流排電路之正負極。

假設 S 為液壓馬達之壓力開關，當液壓馬達壓力開關開啟時①，此時電池的內阻抗②遠大於液壓馬達的電阻，③N、R 之間將降落到極低的電壓，同時此時回路的電流受電池電壓、電池的內阻所影響，液壓馬達上之電流本身就大，加上④馬達啟動時會吸入相當大的電流，⑤致使 R_{L1} 電流變得更大，電流變化率 di/dt 也隨之變大，在 N（正極）、R（負極）兩點的等效電感上產生的感應電勢 $L * di/dt$ 會形成很大的尖峰。此時，N（正極）、R（負極）之間的電壓首先瞬間降落，再漸漸回復成正常電壓。致造成 CS/VRC191 通信機之影響。



圖一 砲車配電電路之影響

資料來源：作者繪製

³傅俊仁，《分散式電源對配電系統之故障電流與電壓驟降分析》（臺南：南台科技大學電機工程研究所碩士論文，民國 94 年 6 月）。

⁴汪永文，《通信電源》（臺北：國防工業，民國 104 年 1 月）。

三、電壓驟降對自走砲車通信設備之影響

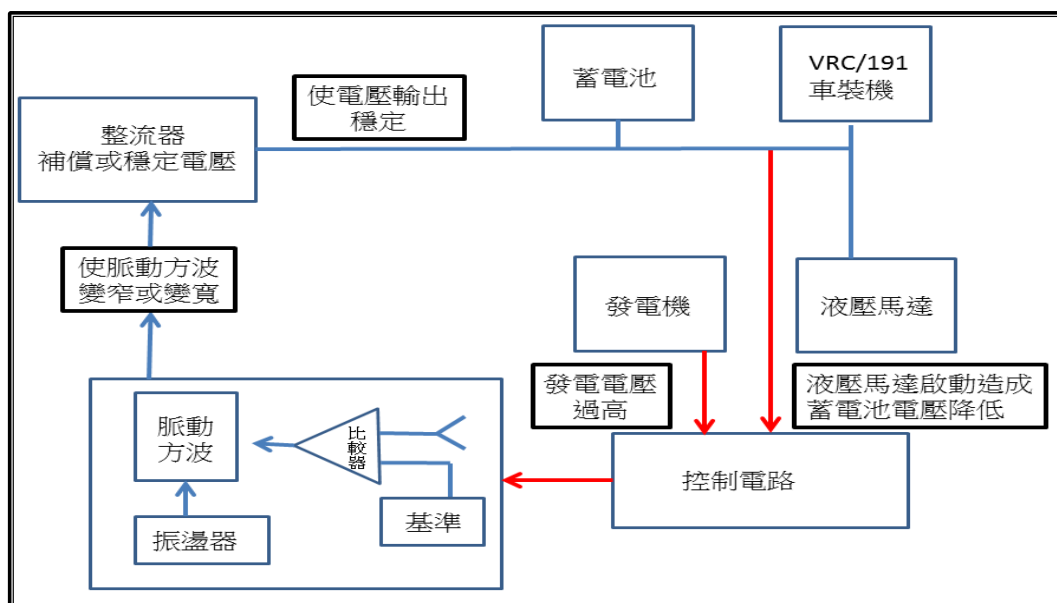
砲塔上之液壓馬達，在啟動期間，其啟動電流約為滿載電流的 5 至 7 倍，使得系統電壓突然下降，直至馬達運轉到額定轉速，才會恢復正常值。這種因馬達啟動引起的電壓驟降現象，在大型感應馬達會特別明顯，且目前砲車通信系統中絕大部份採用單套電源系統進行集中供電，意味著電源系統要給許多不同種類設備供給電源。因此，如果電源系統發生故障，就會造成通信系統的中斷，對通信的影響很大，尤其是砲車通信擔負著作戰任務之指揮聯繫工作，地位非常重要，一旦電源中斷，將造成極大的影響。

研究方法與成果

本研究主要設計一電壓驟降穩壓器，區分安裝及未安裝在 M109 自走砲之通信電源電路上實施測試，並啟動液壓馬達以測得其對電路之影響，記錄其電壓下降值，以分析電壓驟降穩壓器之實體效能，作為未來改進策略依據。

一、作用原理

電壓驟降穩壓器之控制電路，穩定電壓之原理⁵為：當整流器的負載阻值增大或輸入電網電壓升高而引起輸出電壓輕微上升時，控制回路就能能使高頻變換器輸出脈動方波的寬度變窄（或開關頻率降低），進而使整流器的輸出電壓下降，起到了穩定輸出電壓的作用。反之，當電網電壓下降而引起輸出電壓下降時，控制電路會使高頻變換器輸出脈動方波的寬度展寬（頻率升高），同時實現穩定輸出電壓的任務。控制電路還根據檢測電路提供的數據，經鑑別提供各種警告和保護輸出（如圖二）。



圖二 電壓驟降穩壓器電路設計圖

資料來源：作者繪製

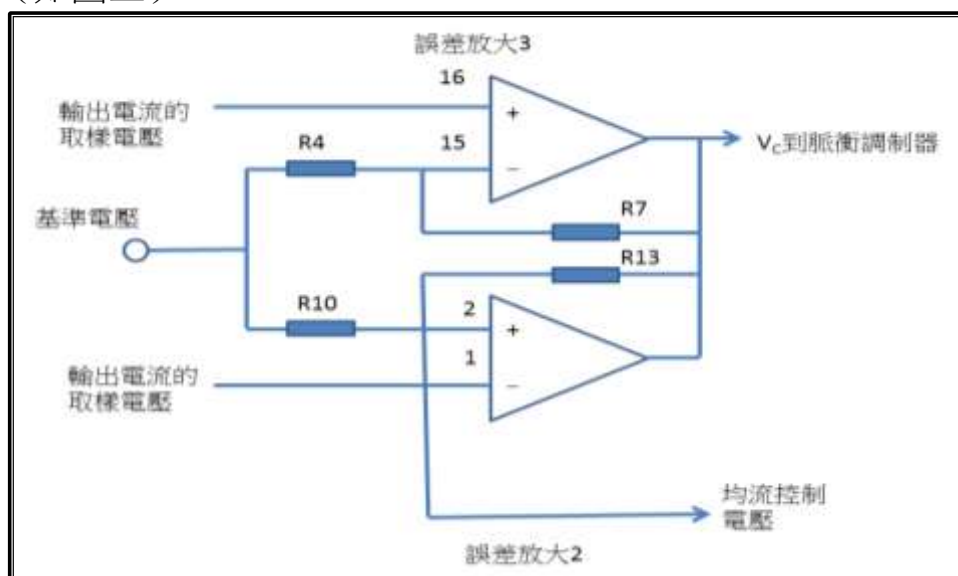
⁵黃仲欽，〈多功能單相不斷電系統之研究〉《電機月刊》，第十八卷第七期，民國 97 年 7 月。

二、穩壓及限流電路作用方式

(一) 穩壓電路：兩個輸入誤差放大器的輸入，誤差放大器 2 的“+”端接的是輸出電壓的取樣電壓，“-”端接的是基準電壓。當輸出電壓升高時，其取樣電壓升高，因基準電壓不變，誤差放大器 2 輸出的誤差電壓 V_c 升高，如前所述，脈寬調制器的輸出脈動方波寬度變窄，進而使輸出電壓下降。反之當輸出電壓下降時，輸出電壓的取樣電壓也下降。誤差放大器 2 輸出的誤差電壓 V_c 下降，使脈寬調制器輸出脈衝寬度變寬，進而使輸出電壓升高，實現穩壓效果。

6

(二) 限流：輸出電流取樣信號 I_+ 、 I_- 經放大後，送到誤差放大器 1 的“+”端，經與基準電壓比較放大構成誤差電壓 V_c 的一部份，在未超過額定值電流 10A 時，差電壓比較小，對脈寬調制器不起作用，當輸出電流超過 10A，達到 10.5A 時，此誤差電壓增大使脈寬調制器的輸出脈衝度變窄，進而使輸出電壓下降，並使誤差放大器 2 的輸出誤差電壓不起作用，若負載不再下降，使輸出電壓繼續下降，出現過流保護或欠壓保護。若負載不再下降，將工作在低電壓輸出的限流狀態（如圖三）。



圖三 穩壓及限流電路作用圖

資料來源：作者繪製

三、測試工作項目

(一) 測試裝備介紹：1. 液壓馬達簡介：主要功能為在啟動後受液壓馬達壓力開關控制，標準壓力 925 - 1225PSI，低於 925PSI 時啟動運轉建立砲塔液壓，於 1225 PSI 時停止建壓⁷。2. CS/VRC - 191 通信機簡介：目前安裝於砲車上區分三種型式，一種為車裝一型稱為 CS/VRC - 191C、車裝二型稱為 CS/VRC - 193C、

⁶黃仲欽，〈多功能單相不斷電系統之研究〉《電機月刊》，第十八卷第七期，民國 97 年 7 月。

⁷《M109A2 自走砲榴彈砲車砲塔部份單位保養手冊》（桃園：陸軍後勤司令部保修署，民國 86 年 6 月）。

車裝中繼型 CS/VRC - 194C，車裝型電壓範圍為 24 - 28 伏特直流（VDC）限流 10 安培（A），工作電壓為 22 - 28 伏特。⁸

（二）測試標準：本設計研究主要以比較車裝通信機電源在液壓馬達作用時，「安裝」及「未安裝」電壓驟降穩壓器時之「前後電壓差異」，以測試液壓馬達啟動後電壓降是否能維持壓降值 22 伏特以上，為比較前後電壓差異之值及安裝電壓驟降穩壓器後之效用，故僅以一台來實施測試其作用效果。

（三）測試儀器及功能：三用電錶：呈現液壓邦浦馬達從啟動最低電壓及回復至起始電壓之電壓值測試設備。

（四）電壓驟降穩壓器（圖四）：本次設計之穩壓器初始構型，外殼設計主要以鋁合金為主要材質，長寬高為（15*11*4 公分），重量約為 350g，並增設防震機件，以防止砲車機動或射擊時之震動造成機件損壞。為使穩壓器故障率減少，散熱方式以利用散熱片為主，以實施散熱，端頭分為輸入端及輸出端，兩側各分別連結輸入由電瓶來之正負極、地線及輸出至通信電源端之突波器電源端，藉由內部電路設計（圖三）所示，補償啟動時之電壓損失。本次主要以測試電路是否能滿足測試標準為主要研究事項，待測試完成後將朝軍規版之設計，以滿足實務所需，（圖四）為其外觀各部名稱。



圖四 電壓驟降穩壓器外觀圖

資料來源：作者繪製

四、電壓驟降穩壓器測試方法及步驟

電壓驟降穩壓器測試，利用單一輛自走砲來做測試，測試主要區分為安裝及未安裝穩壓器時之兩部份，分別測量液壓馬達啟動前及啟動後之車裝通信電源之電壓變化，以分析穩壓器之功能是否能達到測試標準，測試程序如下。

⁸ 《37 系列無線電機操作手冊(第二版)》(桃園：陸軍司令部，民國 91 年)。

(一) 安裝電壓驟降穩壓器於砲車匯流排之電源上。

(二) 使用三用電錶測量，M109 自走砲車未安裝電壓驟降穩壓器時，液壓邦浦馬達前之匯流排電壓初始電壓，此時電壓測量值為 25.8 伏特（如圖五）。

(三) 操作 M109 自走砲裝推彈機，使蓄積器壓力下降至 925PSI，讓液壓邦浦馬達作動，測量液壓邦浦馬達啟動時之匯流排電壓，並記錄之，此時測量電壓值為 16.2 伏特（如圖六）。

(四) 使用三用電錶測量 M109 自走砲車在安裝電壓驟降穩壓器時，液壓邦浦馬達前之匯流排電壓初始電壓，此時電壓測量值為 26.6 伏特（如圖七）。

(五) 操作 M109 自走砲上之裝推彈機，使蓄積器壓力下降至 925PSI，讓液壓邦浦馬達作動，測量液壓邦浦馬達啟動時之匯流排電壓，並記錄之，此時測量電壓值為 26.6 伏特，（如圖八）。



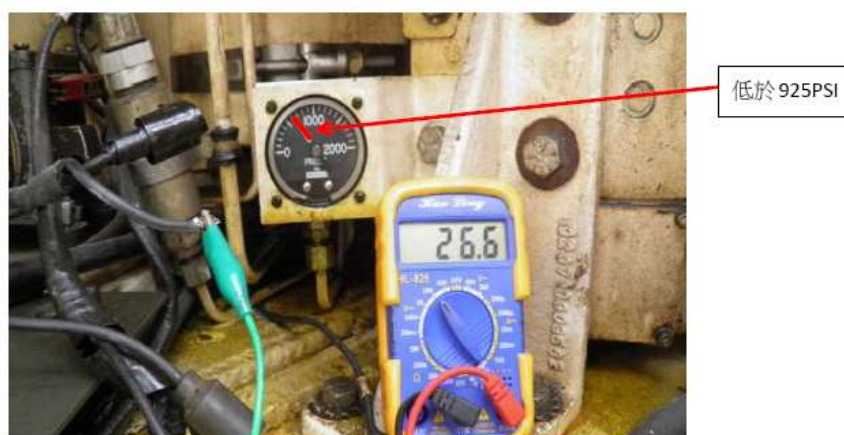
圖五 未啟動時之電壓



圖六 啟動後之電壓變化



圖七 未啟動前之電壓



圖八 啟動後之電壓變化

資料來源：圖五至圖八為作者繪製

五、測試結果分析

研究結果在砲車上安裝電壓驟降穩壓器後，可看出些許電壓上升，其值提升為 0.8 伏特，但提升之電壓並不導致通信機過壓問題造成影響（CS/VRC191 通信機工作電壓為 22 - 28 伏特）⁹，經本測試可看出時，未安裝電壓驟降穩壓器之通信電源，由原初始電壓 25.8 伏特降至 16.2 伏特，在安裝電壓驟降穩壓器後，液壓馬達啟動後蓄電池組經電壓驟降穩壓器釋放儲能，皆使電壓維持 26.6 伏特，蓄電池原為充電狀態轉由升壓電路提供電源，維持原直流鏈電壓及輸出負載電壓、電流穩定，可使通信機持續正常運作所示（如表一）。

表一 測試比較表

電壓變化	安裝比較	
	未安裝電壓驟降穩壓器	安裝電壓驟降穩壓器
測試前電壓	25.8伏特	26.6伏特
測試後電壓	16.2伏特	26.6伏特
資料分析	藉由本表分析，未安裝電壓驟降穩壓器前電壓從25.8伏特降至16.2伏特，安裝後則無呈現壓降問題，顯示該測試結果證實，電壓驟降穩壓器確能改善電壓驟降問題	

資料來源：作者繪製

⁹ 《37 系列無線電機操作手冊(第二版)》桃園：陸軍司令部，民國 91 年。

七、小結

本段主要為利用蓄電池及超級電容器同時經升壓電路釋放儲能，提供電壓驟降穩壓器維持負載正常運作之實測結果，由測試結果可看出蓄電池放電延遲能量管理策略，加入之放大器發揮效果，能在放電瞬間快速釋能，有效降低蓄電池瞬間放電電流，達到保護蓄電池延長壽命的效用，並可同時發揮放電瞬間強化電力的功能，當液壓馬達啟動造成之壓降時，補償通信機電壓維持於 26.6 伏特工作電壓（正常工作電壓為 22 - 28 伏特），滿足通信機之電源需求，防止通信機電壓中斷，達到真正不斷電效果。

結語與建議

一、結語

目前工業設備或系統多數使用高電壓、大電流，且目前各種解決方案均著重於交流供電領域，雖可利用相關降壓轉換裝置，達到自走砲通信電源所需電壓，但 UPS 不斷電系統與設備均為一套組件，必須另外再規劃一個大空間放置電池與不斷電系統設備，對於自走砲中侷限之空間，將面臨又是一個難題。因此，顯然使用 UPS 不斷電系統非理想的負載瞬間壓降防治與解決方式，應改採用直流動力負載電源壓降自動補償方法，設計出電壓驟降穩壓器，可簡化採用不斷電系統策略所需龐大複雜設備，減少故障率及成本。

二、建議

（一）設計研發電壓驟降穩壓器：利用小型軍品研發時機及資源，深入分析研究，並以直流動力負載電源壓降自動補償器之主體為研究架構，研發出適合自走砲車通信電源之電壓驟降穩壓器，以改善現今通信機之電源驟降問題。

（二）利用小型軍品推廣時機，爭取經費量產設備：將研發測試合格之 M109 自走砲電源驟降穩壓器，配合小型軍品推廣時機，與國內承包廠合作量產，分發於各 M109 自走砲部隊，以解決現今車裝通信機遭液壓馬達作用時，產生電源中斷問題，以防止裝備損壞。

（三）制定新式裝備測評項目及標準：由於高科技產業快速發展，許多精密設備廣泛使用，但高科技產品對電壓的變動相當敏感，因此即使是數週波的電壓變動都可能導致敏感性負載，發生不正常動作的情形，致使裝備損壞。對於電壓驟降的改善措施中，一般可由電力系統端、系統與負載間，及直接改善負載的壓降忍受能力等方面來著手。就影響層面，由電力系統端來進行壓降改善的方法花費金額較為龐大，且牽涉範圍較廣泛，效果有限，而從系統與負載間進行改善壓降能達到較快的成效。但從長期的觀點來看，還是由設備本身對壓降的容忍力來著手進行改善較為治本，因此，未來新設備驗收或測評時，必須納為測評項目實施驗證，以提早發掘問題。

(四) 納入教學研究，持續納為研改基礎：測試結果已顯示筆者所提出的改善方法及實體測試，均能滿足測試標準，有效的提供穩定的輸出電源，解決因液壓馬達啟動造成的電壓驟降問題，筆者將持續研究其他使用液壓系統之戰甲砲車通信電源，是否也有同樣受遭受電壓驟降影響，並藉此運用本次所設計之電壓驟降穩壓器改善問題。

參考文獻

- 一、《37 系列無線電機操作手冊（第二版）》（桃園：陸軍司令部，民國 91 年）。
- 二、《M109A2 自走砲武器及射控系統》（桃園：陸軍兵工學校，民國 73 年 3 月）。
- 三、《M109A2 自走砲榴彈砲車砲塔部份單位保養手冊》（桃園：陸軍後勤司令部 保修署，民國 86 年 6 月）。
- 四、《通信電源》（臺北：台灣高等教育出版社，民國 91 年 10 月）。
- 五、江榮城，《電力品質實務（二）》（臺北：全華科技圖書，民國 91 年）。
- 六、黃仲欽，〈多功能單相不斷電系統之研究〉《電機月刊》，第十八卷第七期，民國 97 年 7 月。
- 七、蘇俊連，〈船舶馬達啟動引起電壓驟降之模擬分析〉《中國造船暨輪機工學刊》，第二十八卷第四期，民國 98 年 11 月。
- 八、盧展南，《電壓驟降對電腦及程控設備之影響》（臺北：行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國 93 年 7 月 31 日）。
- 九、羅天賜，《電壓驟降概論》（桃園：工業技術研究院能源與資料研究所，民國 97 年）。
- 十、傅俊仁，《分散式電源對配電系統之故障電流與電壓驟降分析》（臺南：南台科技大學電機工程研究所碩士論文，民國 94 年 6 月）。
- 十一、汪永文，《通信電源》（臺北：國防工業，民國 104 年 1 月）。

作者簡介

黃聖政士官長，陸軍專科學校士官長正規班 28 期、中華民國勞資事務協會職業安全管理師安全衛生教育訓練第 1 期、中國生產力中心職業安全管理員安全衛生教育訓練第 2 期，中華民國緊急救護協會初級救護技術員(EMT1)訓練 100 年度第 1 期，職業安全衛生管理員乙級技術士，歷任副排長、連士官督導長、教官，現任職陸軍砲兵訓練指揮部兵器教官組。