

「液壓邦浦馬達」啟動對 CS/VRC-191 車裝無線電之影響

作者：黃聖政

提要

- 一、筆者曾於執行駐地輔訪之裝備驗證時機，發現 M109 自走砲車裝通信 CS/VRC-191C 型無線電機，因液壓邦浦馬達每一次的啟動皆造成電源瞬間中斷之問題，發現可能影響無線電機之壽命。為研究其肇生原因，筆者以馬達運轉計算公式分析其啟動電壓、電流、扭力三者之關係，了解其壓降原因，並以「實例驗證」的方式，在砲塔液壓邦浦馬達啟動時，測試其電力系統動態運轉行為，以完整呈現電壓壓降過程，發掘壓降大小及持續時間之分析，尋找未來改進方案。
- 二、筆者研究以裝備實況求得相關數據參數及例證，在砲塔液壓邦浦馬達啟動時，測試無線電機連接的主匯流排之電壓變化，將測試結果和「陸軍 37 系列跳頻無線電機 CS/VRC-191C 型操作手冊（第二版）」上之工作電壓電壓規範數值實施比較，以有效地分析因液壓邦浦馬達啟動所引起的電壓驟降問題，協助改善目前 M109 自走砲車 CS/VRC-191C 車裝無線電機之問題。

關鍵詞：液壓邦浦馬達、壓降、電壓驟降、工作電壓

前言

因應現代化戰爭，我國 M109 自走砲車持續研改及性能提升，並運用高科技的精密通訊、射控設備，以增強砲車機動通訊及裝填砲彈全自動化需求。然此類設備也相對的依賴高品質的供電來源，當液壓邦浦馬達啟動時起動電流約為滿載電流的五至七倍，使得系統電壓突然下降，對電壓需求較為敏感的用電設備，如車裝無線電、繼電器等，可能會因供電電壓不足或低電壓持續時間過久使相關受控程式發生重置現象（reset）或在執行中失去記憶體資料，進而發生電源中斷或功能失靈現象，長期造成精密儀器損壞。

因此為能有效地分析 M109 自走砲車因馬達啟動操作引起的電壓驟降問題，除以馬達運轉計算公式分析其馬達啟動時之電壓、電流、電力、扭力之變化外，並以本部之 M109 自走砲車輛實施測試，驗證砲塔電力系統因液壓邦浦馬達啟動時所產生之電壓變化及電壓降現象，進行分析其電壓降大小及持續時間，作為未來改善電壓驟降對砲車車裝無線電或諸加電子裝備影響之參考依據。

液壓馬達與 CS/VRC-191 無線電機之兩者之關係

一、M109 自走砲液壓邦浦馬達

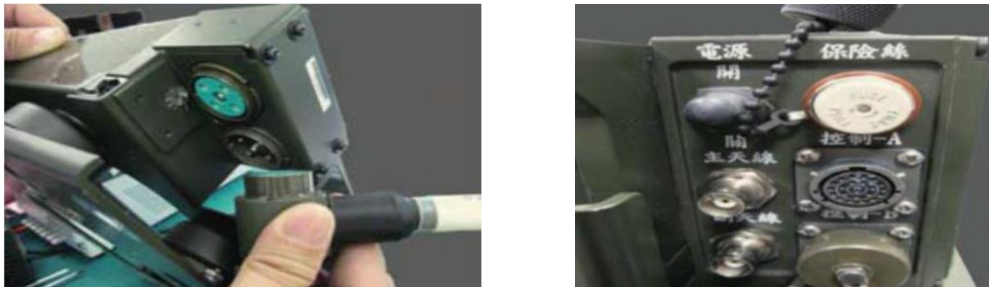
液壓邦浦馬達安裝於砲塔液壓動力機總成內，液壓邦浦馬達具有 5 匹馬力，轉速 3800 轉/分，馬達電流為 202 安培，具有複繞、防水、完全封閉式馬達等特

點，¹藉由砲塔電源提供使其運轉，並以耦合器驅動液壓邦浦產生 925-1225PSI 的液壓系統壓力，來供給動力高低、方向、裝推彈機系統之液壓需求，其受壓力開關控制，壓力低於 925PSI 時液壓邦浦馬達作動，至 1225PSI 時即停止。²

二、37 系列跳頻無線電機

37 系列跳頻無線電機共區分為四種程式，背負型、車裝一型無線電機、車裝二型及車裝中繼型等型式，目前我國配置於 M109 自走砲系列車上使用的為車裝一型無線電，機型號為 CS/VRC-191C 車裝型長距離跳頻無線電機，工作電壓為 22-28 伏特之直流電壓，其可進行保密通信，亦可結合戰術區域通信系統自動戰鬥網路無線電介面，與多種無線電機實施互通，其電源來車裝架底座之電源，並藉車裝架底座和砲塔車裝電源連接如（圖一）所示。³

圖一 車裝控制器和車裝架底座電源連接



資料來源：《陸軍37系列跳頻無線電機操作手冊（第二版）》（桃園：陸軍司令部，民國100年9月7日），頁4-43

三、兩者電源關係

CS/VRC-191C 型無線電機主要電源來源為來自車裝架底座，並由車裝架底座和砲塔車裝電源連接處如（圖二）所示位置實施連接，並接受由電源繼電器箱總成之電力提供無線電機之所需電源，液壓系統則經由滑環電刷固定座及電源繼電器總成提供所需之電力，其兩系統皆使用砲塔電源中的電源繼電器所匯出之電源為電源，因此當液壓馬達電流需求增大使電壓下降時，將影響整個砲塔電源，無線電機也將受其影響。

圖二 車裝架底座和車裝電源連接處



資料來源：作者自行拍攝。

¹ 《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），頁 16。

² 《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），頁 148。

³ 《陸軍 37 系列跳頻無線電機操作手冊（第二版）》（桃園：陸軍司令部，民國 100 年 9 月 7 日），頁 2-50 及 3-41。

電力系統的干擾現象

在電子與半導體科技的進步下，絕大多數的電氣設備已經高度電腦化與自動化，這些精密的儀器或設備，對於供電品質的要求較一般性電氣設備為高，故精密設備需要品質較高的電力來源。

在電力系統的干擾現象中，可分為暫態、短時間電壓變動、長時間電壓變動、電壓不平衡、波型畸變、電壓波動、電源頻率變動等諸多種類，因其短時間電壓變動可說是電力系統最常見的干擾，本文將僅針對短時間的電壓變動實施研討。

一、短時間的電壓變動分類及定義

短時間的電壓變動我們可從（表一）看出其依變動型態區分為瞬時、短暫、暫時等三種類別，瞬時區分為電壓驟降及電壓驟升等兩種，短暫則分為電力中斷、電壓驟降及電壓驟升等三種，暫時則分為電力中斷、電壓驟降及電壓驟升等三種，其中與電壓降之差值大小在電力單位稱之為 pu（標么），⁴以下為各類別之定義。

（一）電壓中斷：當一電壓有效值電壓下降至標稱值的 10%以下，稱之為電壓中斷。

（二）電壓驟降：當一電壓有效值電壓下降至標稱值的 10%至 90%之間，且持續時間在 0.5 週波至數秒，稱之為電壓驟降（sags of dips），⁵國際電氣技術協會（IEC）定義這個電壓驟降現象為「dip」。這兩個名稱可交互使用，但在美國電力品質協會是優先使用「sag」這個名稱。

（三）電壓上升：當一電壓有效值電壓上升至標稱值的 110%至 180%之間，且持續時間在 0.5 週波至數秒，稱之為電壓驟升。

表一 短時間電壓變動分類表

短時間電壓變動	依時間	分類	典型持續時間	典型電壓大小
	瞬時	電壓驟降	0.5-30週波	0.1-0.9pu
		電壓驟升	0.5-30週波	1.1-1.8pu
	短暫	電力中斷	0.5-30週波	<0.1pu
		電壓驟降	0.5-30週波	0.1-0.9pu
		電壓驟升	0.5-30週波	1.1-1.4pu
	暫時	電力中斷	3秒-1分鐘	<0.1p.u
		電壓驟降	3秒-1分鐘	0.1-0.9pu
		電壓驟升	3秒-1分鐘	1.1-1.2pu

資料來源：作者自行拍攝。

⁴胡崇頃，《配線設計（第二版）》（臺北：全華書局，民國97年8月），頁2-5。

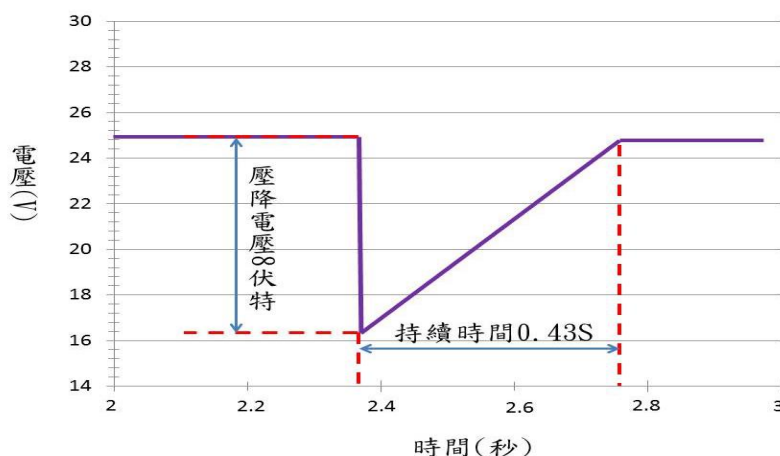
⁵羅天賜，《電壓驟降概論》（桃園：工業技術研究院能源與資料研究所），民國97年，頁1。

二、短時間的電壓變動對設備之影響

現今的精密設備、微電腦資訊設備等用電設備對短時間的電壓變動均非常敏感，電壓中斷會造成設備之停機，而電壓驟降與電壓中斷之差別在於斷電時設備與供電系統完全切離，而電壓驟降仍與供電系統連接，但持續 16ms 的 85% 至 90% 電壓下降即可能導致精密設備、⁶微電腦資訊設備等電壓下降造成無法達到工作電壓而關機，其兩者皆會造成設備當機，電壓驟升則會衝擊設備電路、晶片造成設備故障。

以下所示為液壓邦浦馬達運轉時，其電壓降電壓及時間變化情形。由下（圖三）可以看出，電壓從起始電壓值 24.4 伏特經過約 2.35 秒時，瞬間降至 16.4 伏特，大約在 2.78 秒時電壓才逐漸又回復到起始電壓值 24.2 伏特，其壓降時間 0.43 秒、8 伏特的電壓降，這個現象稱為「電壓驟降」。

圖三 馬達負載啟動所造成的電壓驟降



資料來源：作者自行繪製。

三、短時間的電壓變動防範策略

用戶端對電力系統的干擾現象之防範，可分別從設備本身及用戶本身著手，以下為其改善設備，電池儲能式不斷電系統、並聯式儲能系統、靜態轉供開關、動態電壓恢復設備、靜態電壓調整變壓器、動態式柴油引擎不斷電系統等，⁷設備端則為 Y- Δ 降壓啟動器、自耦變壓器啟動、軟性啟動器等裝置實施改善。⁸

因筆者主要對馬達啟動所造成的電壓驟降實施研究探討，對電壓驟降防範策略，便不再論述及說明。

電壓降之原因分析

為何馬達啟動會造成如此大的電壓降，主要原因是因啟動時大量電流流入

⁶同註 5，頁 1。

⁷同註 5，頁 6。

⁸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，頁3。

馬達電樞內，造成電瓶電壓瞬間下降，本文分別以影響馬達反電壓的各種因素之計算公式及起動馬達在啟動時之電壓變動情況實施分析。

以直流馬達工作原理說明，馬達的電來自電瓶，當電瓶的電流流入馬達使電樞旋轉時，電樞線圈切割了磁場磁力線，於是在電樞線圈中產生了感應電壓，這個感應電壓隨著轉速愈快則愈大，所得到的反電壓也就愈大，反電壓愈大，啟動電流需求也就愈小，因此反電壓對啟動時電流影響甚大。⁹

一、影響馬達反電壓的因素

轉速、馬達內電阻、馬達電流及轉速與扭力為主要影響馬達反電壓大小的因素，可從這五個計算公式分別說明這些因素與反電壓之關係。

$$e = \Phi ZN/60 * P/X * 10^{-8} \text{ 伏特} \text{----公式1 (轉速與反電壓)}$$

$$E = IR + e \text{-----公式2 (馬達內電阻與反電壓)}$$

$$I = (E - e)/R \text{-----公式3 (馬達電流與反電壓)}$$

$$n = V - I_A (R_A + R_S) - V_B / K \Phi \text{-----公式4 (轉速與電流之關係)}$$

$$T = K \cdot \Phi \cdot I_A = K \cdot (K' I_A) \cdot (I_A) = (K'' I_A^2) \text{---公式5 (轉矩與電流關係)}$$

(一) 轉速與反電壓之關係

反電壓 = [(磁力線數量 * 電樞線圈的總數 * 電樞每分鐘的轉速 / 60) * (磁極數量 / 電樞線圈並行路線的數量) * 10⁻⁸]

$$e = \Phi ZN/60 * P/X * 10^{-8} \text{ 伏特} \text{-----公式1}$$

其中 e = 馬達所產生的反電壓 (伏特) Z = 電樞線圈的總數

Φ = 每個磁極的磁力線數量 N = 電樞每分鐘的轉速

P = 磁極數量 X = 電樞線圈並行路線的數量

※如為疊繞式電樞， $X=P$ ，若為波繞電樞， $X=2$ ，馬達的電阻，幾乎都是波繞式。

由以上公式得知磁場愈強，轉速愈快時，反電壓 e 愈大，但是反電壓總低於外來的電瓶電壓 E ，相差的數值，等於馬達電阻的電壓降。

(二) 馬達內電阻與反電壓之關係

電瓶作用電壓 = 電樞電壓降 + 反電壓

$$E = IR + e \text{-----公式2}$$

馬達的電阻，是很微小的，大約0.001至0.002歐姆，如果只有馬達電阻決定馬達電流的大小，那馬達電流會驚人地大。例如：

在馬達無負荷時，12伏特電瓶由於電瓶內電阻的電壓降，作用於馬達的電壓是11伏特，馬達電阻是0.002歐姆。

馬達電流 I = 電瓶作用電壓 / 馬達電阻

⁹陸昌壽，《高級汽車電學（下冊）》（臺北：大嘉印刷事業有限公司，民國75年3月），頁70。

$$I=E/R=11/0.002=5500\text{安培 (A)}$$

這樣大的電流，會立刻將馬達燒壞，實際上因為反電壓的抵抗，真正作用於馬達的電壓是電池作用電壓，減去反電壓後，剩餘的電壓，馬達電流是由這剩餘的電壓所決定的。

（三）馬達電流與反電壓之關係

馬達電流=（電池作用的電壓）-（反電壓）/馬達電阻

$$I=E-e/R\text{-----公式3}$$

例如：

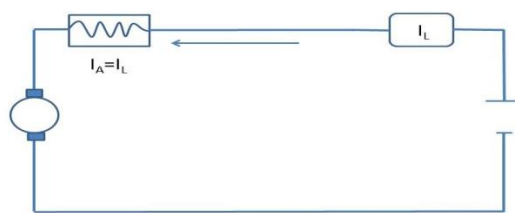
馬達空轉時，反電壓是10.86伏特，由公式3馬達實際電流。

$I=E-e/R=11-10.86/0.002=0.14/0.002=70\text{安培 (A)}$ ，從式中可知反電壓愈大電流就愈小，反之則愈大。

（四）轉速與電流之關係

馬達電路圖如（圖四）所示，因串激場繞組與電樞組串聯，所以電樞電流（ I_A ）=磁場繞組電流（ I_s ）=負載電流（ I_L ），磁通量（ Φ ）將依電樞電流（ I_A ）大小而定，磁通量（ Φ ）與電樞電流（ I_A ）成正比，這將造成負載變動會引起轉速很大的變動。

圖四 馬達電路圖



資料來源：作者自行繪製。

轉速公式=端電壓-電樞電流*（電樞繞組電阻+串激繞組電阻）-電刷壓降/ $K*\Phi$
磁通量

$$\text{公式 } n = \frac{V - I_A (R_A + R_s) - V_B}{K \Phi} \text{-----公式4}$$

V =端電壓 Φ =磁通量 R_s =串激繞組電阻 R_A =電樞繞組電阻

I_A =電樞電流 V_B =電刷壓降

由轉速公式，當負載增加時，電樞電流 I_A 增加，分子會稍微減少，由分母的 Φ 磁通量增多，使得分母增大，因此轉速下降，由此可知轉速（ n ）與負載電流（ I_L ）成反比。¹⁰

（五）轉矩與電流之關係

馬達在小負載時，磁通量不多，其鐵心尚未磁飽合，又馬達的磁通量 Φ 與電樞電流（ I_A ）成正比即 $\Phi=K T_A$ 。

¹⁰汪永文，《電工機械》（臺北：龍騰文化事業有限公司，民國 104 年 1 月），頁 4-4。

轉矩公式 $T=K \cdot \Phi \cdot I_A=K \cdot (K' I_A) \cdot (I_A) = (K'' I_A^2)$ ----公式5

可得到轉矩(T)與電樞電流(I_A)將成平方正比關係，此時，若電流(I_A)增為原來的2倍，增矩將增為原來的4倍，但是依馬達轉速特性，轉速(n)會減半，所以功率 $P=T\omega$ 也只有原來的2倍而已。

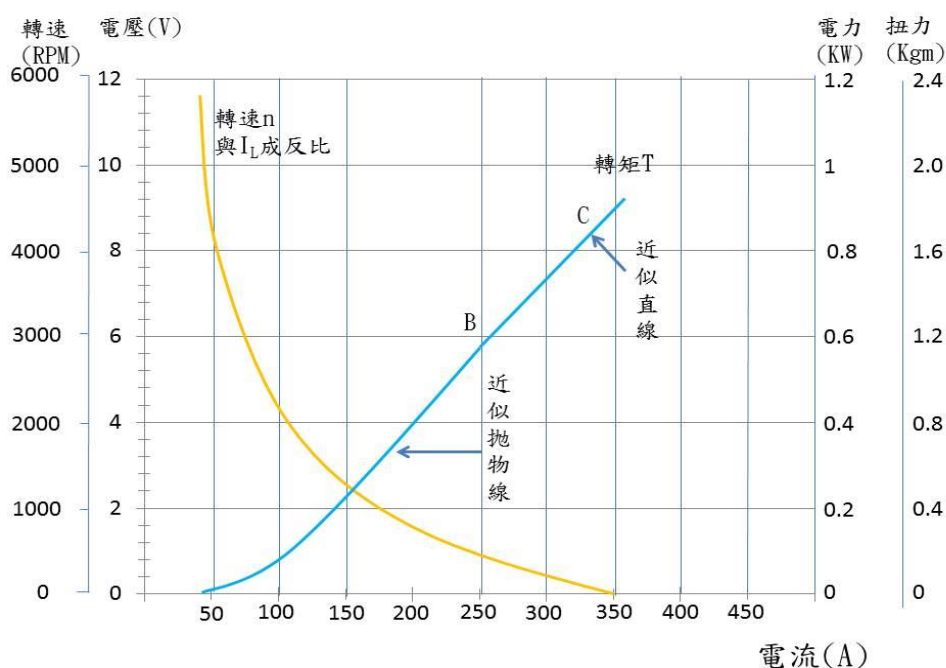
當負載越大時，因鐵心已飽合，磁通量 Φ 不再增加而為定值，所以 $T=K \cdot \Phi \cdot I_A=K'' I_A$ ，此時轉矩(T)與電樞電流(I_A)為正比關係，曲線將漸變成一直線如圖五中B到C這一線段所示。¹¹

綜合言之，馬達轉矩特性曲線在小負載時為一拋物線，負載增大時，則漸變為一直線。

二、小結

根據(公式1)得知，在馬達負荷或空轉時，轉速高，反電壓(感應電壓) e 也高，(公式2)則說明馬達電阻並無法決定馬達電流的大小，(公式3)則是用電瓶作用電壓減去反電壓後，真正作用於馬達的電壓很低，所以電力就小，反之馬達在起動負荷重時，轉速低，電瓶電壓減去反電壓後，真正作用於馬達的電壓較高，所以電流大，扭力也大，從(公式4)及(公式5)可看出馬達的轉矩性曲線與轉速特性曲線如(圖五)，負載大時轉速低、轉矩低；負載小時轉速高、轉矩小，因此根據以上公式可看出轉速、轉矩與電流之關係，在起動時之瞬間重負荷及低轉速將會造成相當大的電流產生，也是造成電壓驟降主因。

圖五 馬達的轉速與轉矩特性曲線



資料來源：作者自行繪製。

¹¹同註 10，頁 6-4。

測試與成果分析

一、工作項目如下

(一) 儀器設備的建立：1.碼表：計時液壓邦浦馬達從啟動後至最低電壓及回復至起始電壓之時間測試設備；2.三用電錶：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。

(二)測試對象以 M109 自走砲為主，7 門自走砲皆為 24 伏特 5 馬力(3.73KW) 轉速 3800 轉 安培容量 202A 之液壓邦浦馬達。

(三) 測試方法為二：1.分別測試每一門 M109 自走砲車在未使用液壓邦浦馬達前之匯流排電壓；2.操作裝推彈機使蓄積器壓力下降至 925PSI，讓液壓邦浦馬達作動，觀察記錄液壓邦浦馬達啟動中之匯流排電壓，分別記錄其起始電壓、最低電壓及電壓下降至最低及回復至起始電壓之時間。

(四) 測試結果統計分析：將 7 門自走砲在測試期間，所發生事故時的壓降電壓值與持續時間，記錄於記錄表中，並繪製成壓降曲線圖實施分析。

二、液壓邦浦馬達啟動測試方法及步驟

針對 7 輛 M109 自走砲車分別於液壓邦浦馬達啟動前與啟動中進行電壓敏感性測試，測試程序如次：(一)將 7 輛測試 M109 自走砲之車號依序進行編號；(二)記錄自走砲編號於基本資料表；(三)測試前先行將電瓶實施充電，以滿足電壓最小需求；(四)開始進行測試。

因測試次數甚多，以下僅以 1 門之測試數據實施圖像呈現，其餘測試記錄，均已記錄於測試表中，故無將全數記錄圖像置放於本文中，測試程序如次。

1.先行測試液壓邦浦馬達未啟動前之匯流排電壓，並將其起始電壓值記錄於記錄表中（如圖六）。

2.操作裝推彈機，使蓄積器壓力小於 925PSI，液壓邦浦馬達啟動自動開始增壓，觀察並測量其至最低電壓時間及電壓值（如圖七）。

3.液壓邦浦馬達啟動增壓後，回復至啟始電壓及時間（如圖八）。

圖六 電瓶起始電壓



圖七 液壓動力馬達作動最低電壓及時間



圖八 回復至起始電壓時間

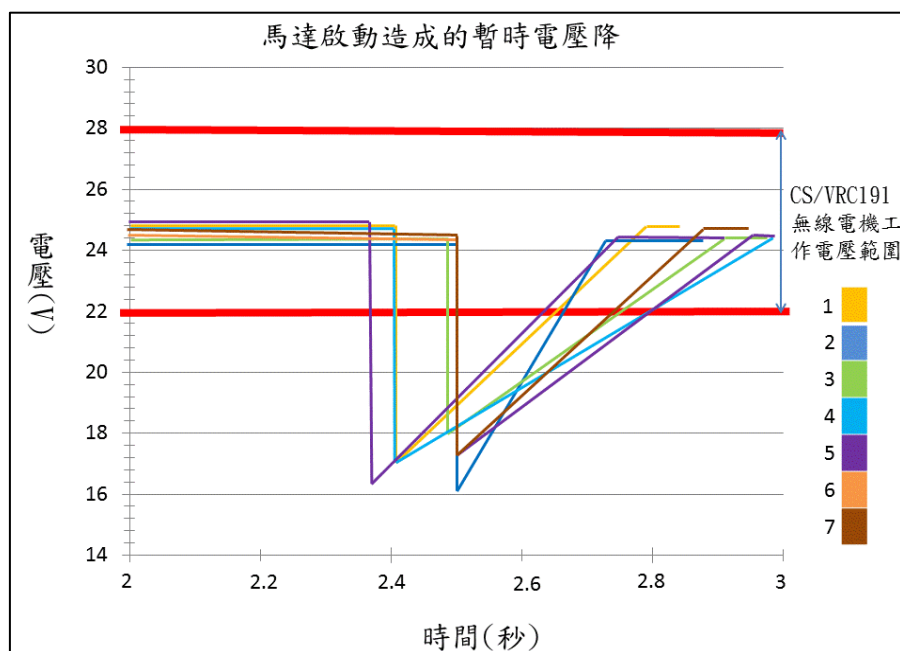


資料來源：圖六至圖八為筆者自行拍攝。

三、測試結果分析

測試結果壓降曲線圖（圖九）是研究本次根據測試成果製定而成，壓降曲線圖 22 至 28 伏特各有一條水平紅線是描述 CS/VRC-191C 無線電機運轉時之工作電壓，藉由兩條水平線來表示無線電機對電壓需求之限制，中間 7 個曲線代表著是各車在液壓邦浦馬達啟動中時的電壓變化，依據上圖所示，若當液壓邦浦馬達啟動時，因其初始電壓數值電壓不同，所以 7 個曲線也會呈現不同初始曲線點，但可看出各輛車在時間約為 2.3 至 2.6 秒間，電壓皆發生了瞬間下降之情況，時間最大可長達至 0.43 秒，且其最低電壓也都低於 CS/VRC-191C 無線電機之工作電壓需求，造成 CS/VRC-191C 無線電機因電壓驟降的影響而造成電壓不足致使關機。

圖九 測試結果壓降曲線圖



資料來源：作者自行繪製。

結語與建議

一、結語

經過本研究參考文獻及測試結果，我們可了解馬達在啟動時，會產生比原來滿載電流的 4-6 倍電流，¹²流入馬達，造成電瓶的電壓突然下降且持續數秒，此時的電壓將無法滿足 CS/VRC-191C 無線電機所需的工作電壓，致使 CS/VRC-191C 無線電機的電源中斷關機，直至液壓馬達停止充壓後，電壓回復才再重新開機，造成無線電機在每一次液壓邦浦馬達啟動時（氮氣壓力低於 925PSI）就造成電源中斷，「戰時造成重要通訊訊息中斷」，平時訓練則因無線電機反覆的開關機，「易造成無線電機之損壞」。

二、建議

改善電壓驟降可以分別從供電系統、設備本身及用戶本身系統著手，短期而言，由用戶本身系統進行預防與改善最具效率，但長期而言還是應從設備本身之耐受力徹底解決，而系統面之改善由於牽連廣泛，需作整體的評估與策略考量才能決定最有效且最經濟的改善方式，以下為筆者的兩點建議：

（一）既有設備改善電壓容忍度：目前工業上常用改善馬達啟動的電壓驟降的方法，大多為在裝置上安置 Y- Δ 降壓啟動器、自耦變壓器啟動及軟性啟動器（soft starter）等裝置，以降低馬達的啟動電流，有效改善電壓驟降問題或增加穩壓裝置來防止電壓驟降對車裝通信機設備的電源影響，本文建議可利用「小型軍品研發時機」，研發有效減少電流或穩定電壓功能且能符合砲車構型之「降壓啟動或穩壓裝置」，安裝於液壓邦浦馬達之電力系統，以改善其電壓驟降所造成 CS/VRC-191C 無線電機電源中斷，不斷重新開機之問題。

（二）測評項目新增最低作用電壓標準：未來砲車電氣設備於新撥或測評前，皆將新設備之電壓容忍度納入撥交時之檢查測試項次或新式電氣設備之測評表中，實施測試，以利新設備在撥交或測評時通過檢驗測試，確保裝備撥交後不因電壓驟降問題，影響裝備壽命。

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、江榮城，《電力品質實務（一）》（臺北：全華科技圖書，民國89年）。

¹²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，頁 187。

- 五、江榮城，《電力品質實務（二）》（臺北：全華科技圖書，民國91年）。
- 六、Stephen J.Chapman，《電機械基本原理解》（臺北：東華書局，民國88年）。
- 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》，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》，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》，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、胡崇頃，《配線設計（第二版）》（臺北：全華書局，民國97年8月）。
- 十二、汪永文，《電工機械》（臺北：龍騰文化事業有限公司，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。