

直流馬達驅動家電產品之反電勢現象對 安規絕緣耐壓及距離判定的影響

台南分局 技正 林昆平
技士 許經杭

前言

直流馬達由於體積小，非常適合應用在小型家電產品上，例如吹風機、刨冰機、按摩棒、電動刮鬍刀、剪髮器等，但直流馬達運轉時，端電壓會產生 30V 左右的反電勢現象，進而影響家電產品安規絕緣耐電壓及絕緣距離的檢測與判定，因兩項檢驗項目是根據電器操作在額定電壓下，內部元件所呈現的最大電壓來決定測試值，例如一輸入 110V 交流的全波整流電路之直流馬達驅動產品，馬達端電壓會飆升至 140V 左右，因此對於 CNS3765 第 13 節及第 29 節絕緣耐電壓及距離的判定標準，就必需選定工作電壓大於 130V 的規定標準，而不是小於 130V 的規定標準，本文探討此現象，希望引起安規從業人員的討論。由於直流馬達必需供給直流電源，故須有全波整流電路，因此本文先由全波整流電路輸出特性談起，接著製作一具全波整流電路之直流馬達運轉模擬基板，實地監測直流馬達輸出的端電壓波形，再加以分析。量測儀器用 HIOKI 8086 多功能電力儀錶，希望藉此能提供安規從業人員檢測時之參考資料。

一、整流電路直流側輸出特性

考慮四顆二極體構成的橋式整流電路及其相關資訊，這包括電源輸入波形 $V_s(t)$ 、實際整流輸出波形 $V_o(t)$ 、理想整流輸出波形 $V_o'(t)$ ，整體如圖 1 所描述。直流輸出之平均值 V_o' 可由 1-1 式求得；將 $0 \sim 2\pi$ 實際輸出直流脈波 $V_o - t$ ，打散在理想輸出波形 $V_o' - t$ 週期 2π 內，即可算出 1-2 式直流平均電壓。

$$\begin{aligned} V_o' &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} V_s \sin(t) dt \\ &= \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(t) dt \\ &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_s = \frac{2}{\pi} V_m \end{aligned} \quad (1-1)$$

V_m ：輸入正弦波之最大值

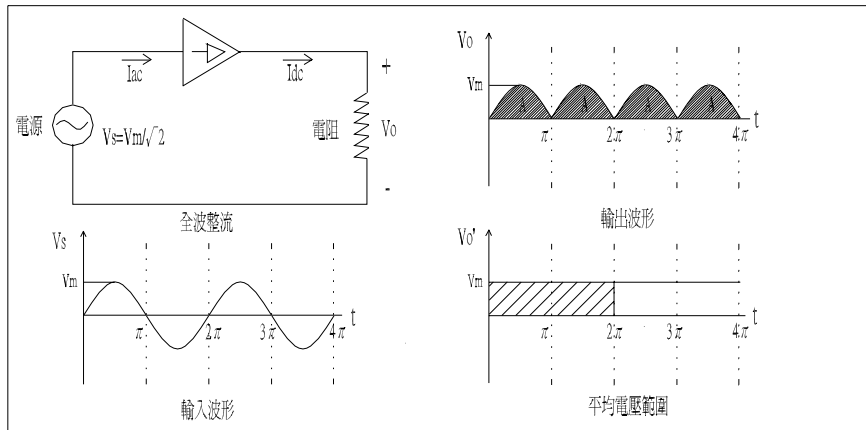


圖 1 全波整流電路輸出特性

二、直流馬達運轉對整流側電壓的影響

圖 2 係模擬家電產品內部全波整流電路直流馬達之接線圖，主要由 40A 二極體、單投開關及廠商所提供 20W 刨冰機直流馬達組成，圖 3 為等效電路。以下分別就直流馬達「停止」、「空轉」、「堵轉」、「額定加載運轉」等四種實際操作情形，在馬達輸入端 V_{dc} (ie: 整流電路輸出側)，進行直流電壓波形量測。

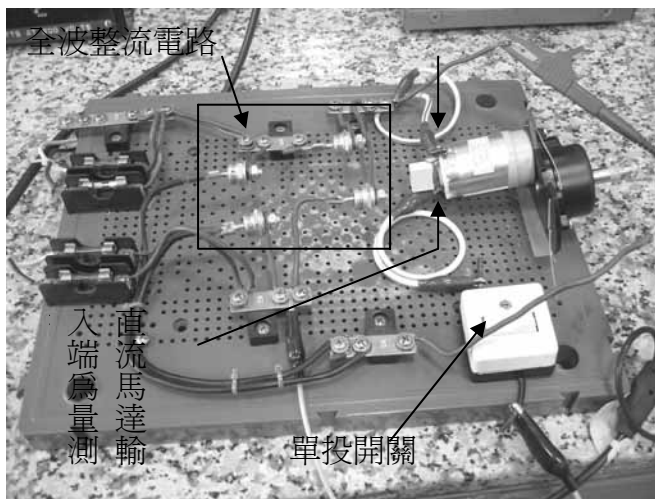


圖 2 全波整流電路模擬基板

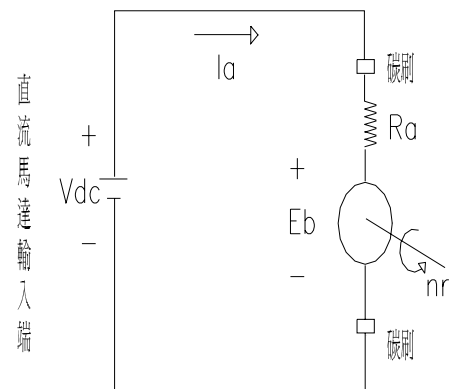


圖 3 直流馬達等效電路

[狀況 1] 馬達停止運轉

量測波形如圖 4，交流端輸入 111V，示波器記錄直流平均電壓為 100.12V，與式 1-1 理論值所示相同，若以第一條虛線為 X 軸線 ($Y=0$)，直流波形之最大值為 155V，最低點值 7.5V，

故直流波形基本上亦可視為一振幅 147.5V 的大漣波。

[狀況 2] 馬達空轉

此情形下產生較奇怪的現象，如圖 5 顯示平均電壓竟由原先的 100.12V 跳升至 137.15V，原兩脈波間的凹陷區域，被不明電壓成份填滿，頂端並形成五個尖銳漣波，示波器記錄最高 165V，最低 102.5V，原因為何？其中，尖銳漣波為馬達轉動產生之電磁干擾，與本文所討論內容較不相關，不再言敘，我們把重點擺在凹陷區域不明電壓成份的填補效應，考慮圖 4 脈波間的凹陷區域，碳刷間將沒有足夠電壓驅動馬達運轉，但因馬達已被第一個輸入直流脈波電壓起動，故凹陷區域雖然失電壓，『馬達照樣慣性轉動』，如此一來，馬達在這段期間反變成發電機，加上慣性轉速短時間不會下降，故發電電壓表現在碳刷上，波形平均高度幾乎等同自外部輸入的直流脈波平均高度，此種現象稱為反電動勢(Back Electromotive Force，簡稱：Back.E.M.F)，其大小與轉速成正比詳見式 2-1，狀況 3 可證明此推論。

[狀況 3] 馬達堵轉

將空轉中的馬達立即堵轉，迫使發電機效應消失，反電勢自然不見。圖 6 為筆者用尖嘴鉗夾住轉動中馬達的量測結果，此時直流電流輸入最大，電樞輸出轉矩最強，但實驗顯示脈波間的凹陷區域重新浮現，填補的反電勢電壓消失，直流平均電壓降回 100.12V 附近。

$$E_b = k \Phi n_r \quad (2-1)$$

$$V_{dc} = E_b + I_a R_a$$

$$I_a = \frac{V_{dc} - E_b}{R_a} \quad (2-2)$$

n_r ：馬達轉速 Φ ：定子磁場 E_b ：反電勢電壓

V_{dc} ：整流輸出直流平均電壓 I_a ：電樞電流 R_a ：電樞電阻

K ：為一常數(由直流電機之極數、電樞線圈的導體數、繞組並聯路徑數目決定)

[狀況 4] 額定加載操作

如果將刨冰機正常加入冰塊運轉，又將發生什麼情形？圖 7 及圖 8 為刨冰機挫冰量測數據及照片，可發現直流平均電壓只上升至 111.01 V，原因在於有載轉速比空轉轉速來得低，一旦脈波凹陷區域作為電壓輸入時，慣性轉速低，反電勢現象小，填補範圍自然降低。另一個大家可能會問的問題是，脈波電壓加壓期間，馬達在轉動，理論上轉子也在切割定子磁場，為何反電勢沒將每個脈波波形往上移，關於這一點，參考圖 3 直流馬達等效電路，以 2-2 式解釋。反電勢基本上是存在的，只是抗拒外部脈波電壓輸入，反應在電樞電流變小，此在馬達輸入端(碳刷間)，是測不出來的。

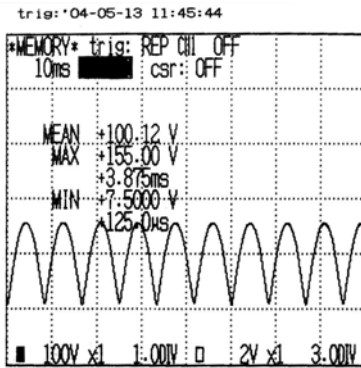


圖 4 直流馬達未起動

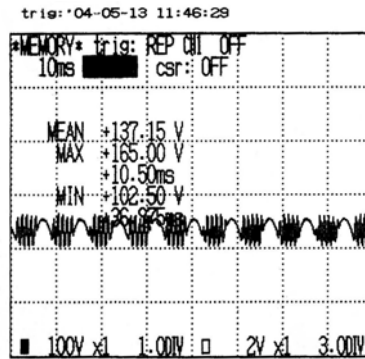


圖 5 直流馬達空轉

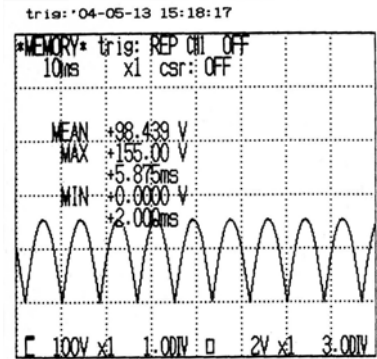


圖 6 直流馬達堵轉

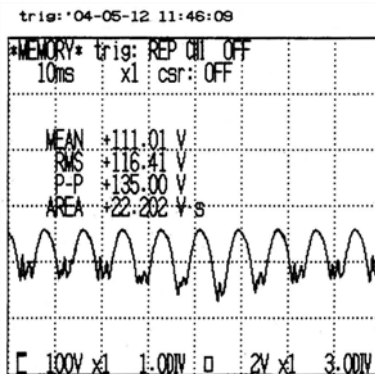


圖 7 刨冰機加冰運轉



圖 8 刨冰機挫冰波形量測

三、反電勢現象對絕緣耐電壓及距離的判定影響

經由第二節討論，直流馬達空轉約 137V，堵轉約 100V，額定負載約 111V，因此對 CNS3765 第 13 節及第 29 節絕緣耐電壓及距離的判定就有影響，表 1 及表 2 顯示部份判定標準，而電器的正常操作方式被明訂在 IEC60335 PART2，例如電剪髮器及電動刮鬍刀就被定義操作在空載下進行試驗，如此一來，表 1 及表 2 就應該選定工作電壓大於 130V 的試驗電壓及空間沿面距離來作為判定標準，雖然有些直流馬達驅動家電產品，被定義操作在有載下而非空轉，但此負載也都不是操作在額定狀況，有的也只操作在 1/5 載或半載，其直流馬達端電壓還會不會超過 130V 呢？筆者正在收集該類家電產品，希望以實際的實驗記錄進行分析，以提供安規檢測之參考資料。

施加試驗電壓之點	試驗電壓(V)				
	III類構造 及 III類電器	II類構造及電器		其他電器	
		工作電壓 ≤130V	工作電壓 ≤130V	工作電壓 ≤130V	工作電壓 ≤130V
1.帶電體與可接觸部之間，且兩者之間為 —基本絕緣 —強化絕緣	500 ---	--- 2500	--- 3750	500 2500	1250 3750
2.具有雙重絕緣的零組件與帶電體僅有基本絕緣之金屬部位及 —帶電體間 —其他可接觸之零組件間	--- ---	1250 1250	1250 2500	500 1250	1250 2500
3.當金屬外殼內面有絕緣襯膜時如帶電部與金屬外殼間穿					

表 1 絕緣耐電壓試驗電壓規定

距離(mm)	III類電器 及構造		其餘電器					
			工作電壓 V ≤ 130V		工作電壓 130V < V ≤ 250V		工作電壓 250V < V ≤ 440V	
	沿面 距離	空間 距離	沿面 距離	空間 距離	沿面 距離	空間 距離	沿面 距離	空間 距離
不同電位兩帶電體間(·)								
—有防積污保護(·)	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0
—無防積污保護	2.0	1.5	2.0	1.5	3.0	2.5	4.0	3.0
—漆包線繞組	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0
—對於具有防積污保護之(·)正溫度係數電阻及其連接引線帶電體與其他金屬體間為基本	---	---	1.0	1.0	1.0	1.0	---	---

表 2 電器絕緣距離的判定

四、結論

安規檢測之工作電壓應是實際量測之值而非理論值，其無論何種產品，均應量測工作電壓再行判定。故像直流馬達反電勢所產生電壓上升問題，若無透過量測工作電壓，很容易根據其理論值，作出對安規絕緣耐電壓及空間沿面距離的誤判。本文利用示波器實地捕捉其蹤跡，搭配理論分析數據與波形特性，完整的呈現此現象，希望能引起安規工程師們熱烈的探討。

五、參考文獻

1. 無線電雜誌社 著,"直流電源供應器的原理與設計"。
2. 許中平 著,"直流電動機控制電路設計",全華書局。
3. 郭塗註 著,"電工機械",大中國圖書公司。
4. 尊凡公司,"直流馬達特性技術資料"。