

# 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  $2\pi$  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

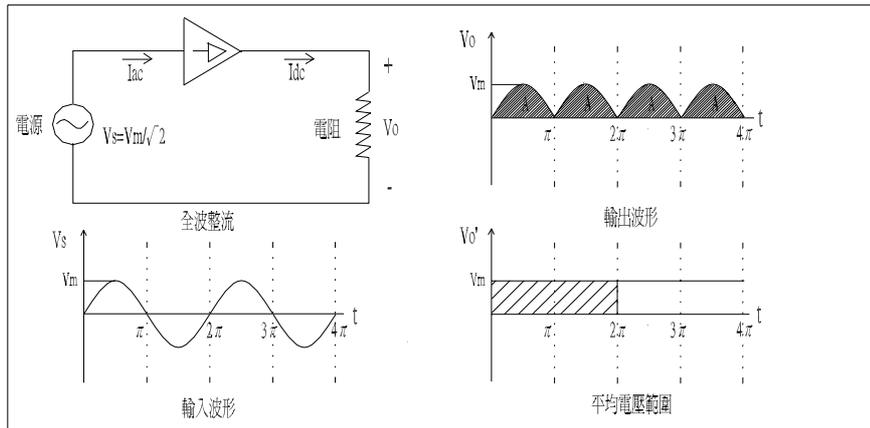


圖 1 全波整流電路輸出特性

## 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。

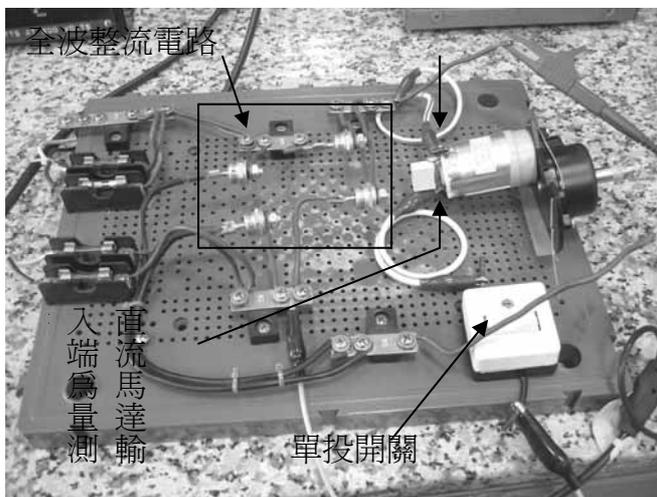


圖 2 全波整流電路模擬基板

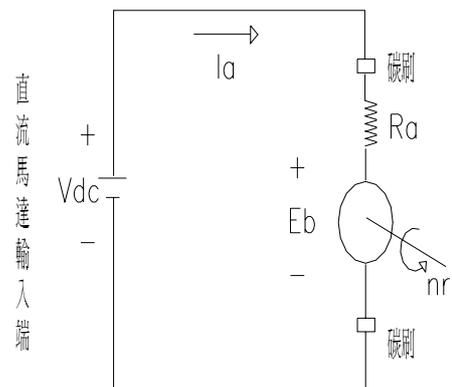


圖 3 直流馬達等效電路

### [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  $\Phi$ ：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。

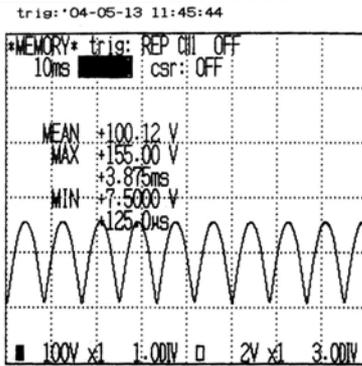


圖 4 直流馬達未起動

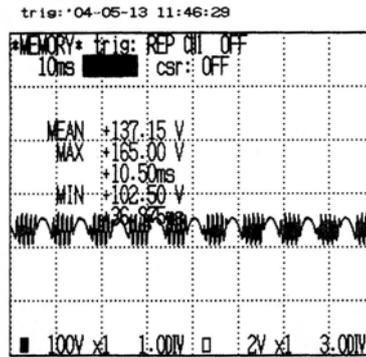


圖 5 直流馬達空轉

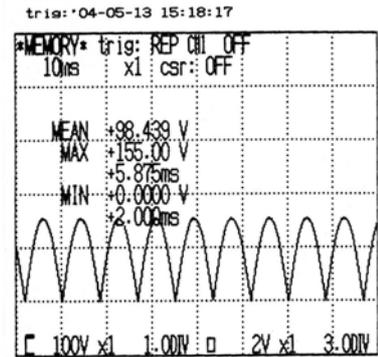


圖 6 直流馬達堵轉

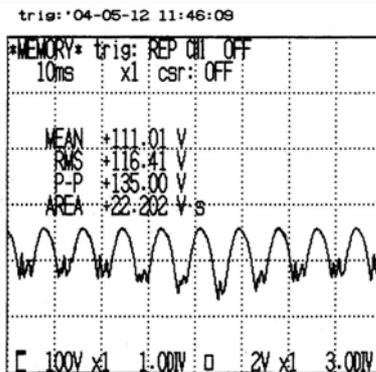


圖 7 刨冰機加冰運轉



圖 8 刨冰機控冰波形量測

### 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"。