

## 電機生產線品管新方法

### ● M.E.A 測試系統簡介

M.E.A 馬達測試系統是專為高速檢測電機而設計的，利用 M.E.A 的系統，我們能在幾秒鐘之內獲得一個完整的電機靜態和動態的性能。這種方法是讓馬達，從零速度加速到無載轉速，而不需要額外的負載。唯一的負載就是轉子自身的轉動慣量。在微秒的時間內，可以測量出暫態電流，電壓和速度。速度的測試可以有兩種方法：1.通過一個外置的 M.E.A 速度感測器。2.馬達內置解碼器，這個解碼器能測量速度信號。用戶可以利用一種很方便的軟體，根據表 1。所列出的測量資料來進行計算。軟體能夠以表格和圖片的形式來顯示資料，並且可以將其保存，以使用戶進行評估，比較和質量認證等等。

靜態特性	動態特性
輸入功率——速度	加速時的速度 ——時間
輸出功率——速度	加速時的扭矩 ——時間
效率 ——速度	旋轉頻率的不平衡性
扭矩 ——速度	扭矩——振盪，速度——振盪
摩擦力矩——速度	速度振盪的頻譜分析
電壓 ——速度	扭矩振盪的頻譜分析
電流 ——速度	振幅的積分
電流 ——扭矩	摩擦力矩的頻譜分析
減速時的反電動勢	頓矩(Cogging)級數
旋轉方向	
定子溫度	
不同溫度下的輸出功率和扭矩	
轉動慣量的測定	
負載曲線的測定	

表 1。：利用 M.E.A 測試系統對馬達特性進行測試評估

這種方法適合用在研發上和用在馬達生產線的質量管理，也適合用於齒輪馬達，電氣制動器，還有多軸承機器的驅動器控制。

M.E.A 對馬達質量認證的測試程序與當今一般所採用的傳統方法是不同的。傳統的一些參數，例如：繞線電阻，絕緣&耐電壓測試，最大速度等等類似的標準來進行檢測。如果這些測試參數符合要求，就認為馬達符合設計性能。而 M.E.A 系統遵循由上至下的方法。每一個參數表徵相應的特性，與設計值的偏差反映故障，從而來決定馬達的整個性能。每一個故障類型都有一個特定的故障對應表，所以故障很容易從測試結果找出來。與傳統的方法相比，M.E.A 測試方法是由所有參數決定的馬達性能和質量，能夠檢測出更多的電氣故障和機械故障。

M.E.A 測試系統的故障檢測如表 2。：

故障指示	
<p><b>與 設計值偏差的參數：</b></p> <p>電流 電壓 輸入功率 輸出功率 扭矩 效率 頓矩(Cogging)級數</p> <p><b>查找出的問題：</b></p> <p>磁路的問題 斷線或鼠籠斷槽 絕緣故障 轉子的電氣不對稱 轉子繞組焊接不良 火花</p>	<p>反電動勢偏差 電刷問題 馬達內部軸承(<i>Bearing</i>)損壞 馬達摩擦力增大 偏擺和振盪 馬達異音 不平衡 直線校準不良 齒輪異音 齒輪摩擦力增大 軸承損壞 馬達控制器問題</p>

表 2。：使用 M.E.A 測試系統能找出的馬達故障內容

在一個用戶所做的研究案例中，證明顯示在大批量的生產中，使用 M.E.A 的測試系統，測試同時也記錄了馬達的故障或不良，並不會造成生產線的延遲。

### 高效率的 M.E.A 馬達故障檢測系統

一個馬達生產商提供了 5 個好的馬達（# 13，21，22，23，24）和 4 個有機械故障的馬達。這些馬達都是永磁直流馬達，無負載時速度為 2500R.P.M，工作電壓為 24V 時的輸出功率為 200W。5 個好的馬達作為比較的基準，以便從故障馬達顯著的偏差中鑑定標準偏差。

故障馬達如下：

- #1 滾珠軸承，軸側損壞
- #4 電刷故障
- #5 不平衡
- #8 滾珠軸承，電刷側損壞

5 個好馬達先運轉 1 分鐘進行熱機之後，分別測試 10 次，來得到平均值和離散值。

M.E.A MotorLab 軟體可以獲得下列值：

- 扭矩
- 電流
- 輸入功率
- 效率
- 摩擦力矩

參數與速度的函數關係：

- 摩擦力矩與旋轉角度的函數
- 速度與時間的函數

後來發現，在原來 5 個所謂好的馬達之中 # 22 也是個故障的馬達。在測試無故障馬達時,可獲得很好的再現性(repeatability)曲線如圖 1：

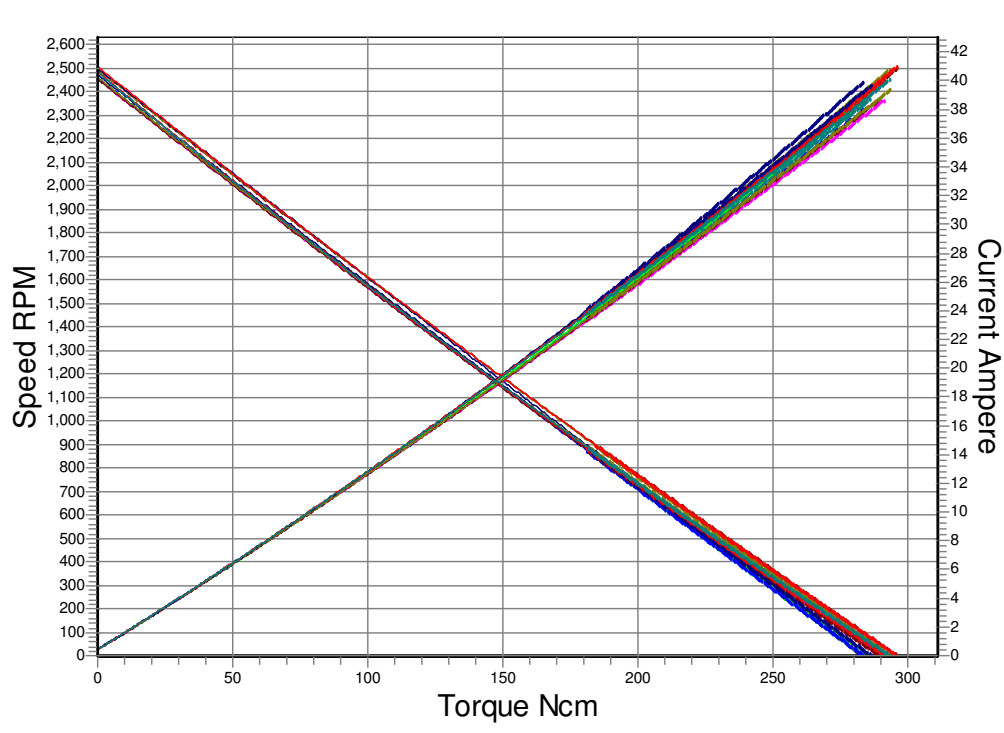


圖 1: (#13, 21, 23, 24)馬達 10 次重複測試曲線

根據 4 個好的馬達的測試結果，一個  $6\sigma$ (標準差)為  $\pm 4\%$ 的管制範圍，已經被內建在 M.E.A 測試系統 GONOGO 的軟體之中，下面圖表中，深藍色線代表公差範圍的下限，淺藍色代表上限。

故障馬達在測試之前也要先進行1分鐘的熱機運轉。工作電壓24V，測試結果如表3。(+)符號表示測量值在公差範圍內，(-)則表示測量值超過了公差範圍。所有的測試結果表明了馬達從零加速到最大無載速度時的性能。

測試 馬達	輸入功率 對 速度	電流 對 速度	輸出功率 對 速度	效率 對 速度	扭力 對 速度	摩擦力 對 速度
#13, 21, 23, 24 好的馬達	+	+	+	+	+	+
#22 所謂的“好”馬達	+	+	-	-	-	-
#1 軸側軸承損壞	-	-	-	-	-	+
#4 電刷損壞	+	+	-	-	-	-
#5 不平衡	-	-	-	-	-	-
#8 電刷側軸承損壞	+	+	+	-	+	+

表 3: 被測馬達的所有特性

同時 所有無故障的馬達就算反覆測試，結果都很清楚地在公差範圍之內，而故障馬達就會明顯偏離公差範圍。圖 2 顯示了 #5 馬達的不平衡和振盪（紅色線）造成的偏差，很明顯扭矩在公差範圍以外，同樣從圖 3 看到摩擦扭矩和效率也偏離了。

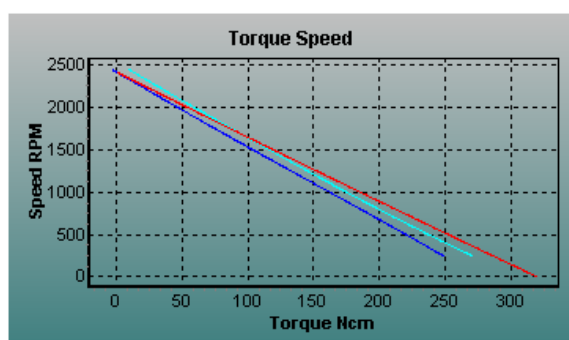


圖 2:

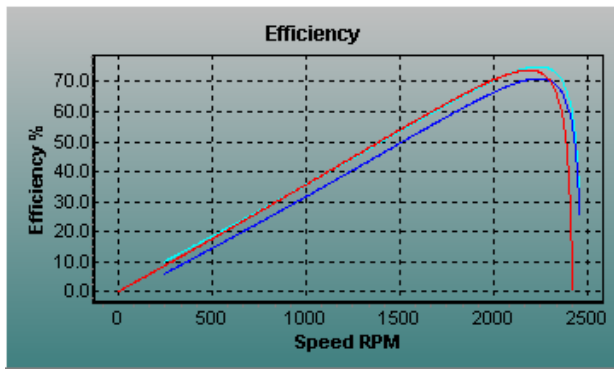


圖 3：

但是 有些時候，偏差並不是非常明顯，例如 #1 馬達齒輪只有輕微的小損傷時（圖 4）：

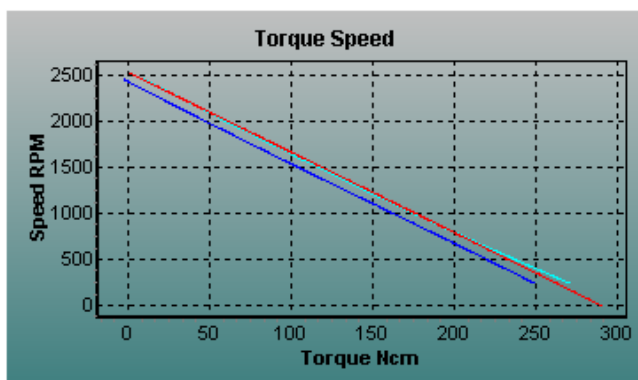


圖 4：

還有 #8 馬達電刷側有很小的損傷，它只是不能滿足準則中的效率項目。在這樣一些情況下就存在不確定性。換言之，在測試過程中採用大量的判斷標準，其優異性是它可以保證測試時檢測出任何所有的故障項目，唯有這樣才能檢測出不規則性的故障情況！

## 精鍊的測試編程

### 頓轉轉矩(Cogging torque)測試

頓矩級數(cogging level)被引入了作為更進一步的測試標準。它能顯示出所謂的“好”馬達 #22，有一個明顯的機電的故障現象，#22 的頓矩級數是好馬達的 5 倍，而且都是非常接近的。另外 那些僅有機械故障的馬達的頓矩級數卻要比好馬達要低很多。

### 降低工作電壓測試

M.E.A 系統能更進一步提昇測試靈敏度來消除所有不確定性。當馬達在正常電壓下進行測試時，高的電磁和機械力的作用會給馬達測試帶來干擾。如果降低工作電壓的話，就可以減小機械干擾所帶來的影響。而電磁干擾可以降低，這也能更精確地辨別機械異音。

另外 除了 24V 正常電壓之外，馬達還可以在 5V 穩態電壓下進行動態測試。這就表示能在無負載速度下測試振盪。看表 4 和 圖 5.7。

圖 6 和 8 是所測試的摩擦扭矩的頻譜分析。

馬達	頓轉轉矩 (Cogging torque)	在 5V 低電壓 (穩態) 時 測試動態結果
#13, 21, 23, 24 好的馬達	+	+
#22 所謂的“好”馬達	-	-
#1 軸側軸承損壞	-	-
#4 電刷損壞	-	-
#5 不平衡	-	-
#8 電刷側軸承損壞	-	-

表 4。為了發現微小的機械缺陷，MEA 測試系統附加了精密的測試：  
將頓轉轉矩，和在無載時動態的扭矩振盪作為評鑑標準。

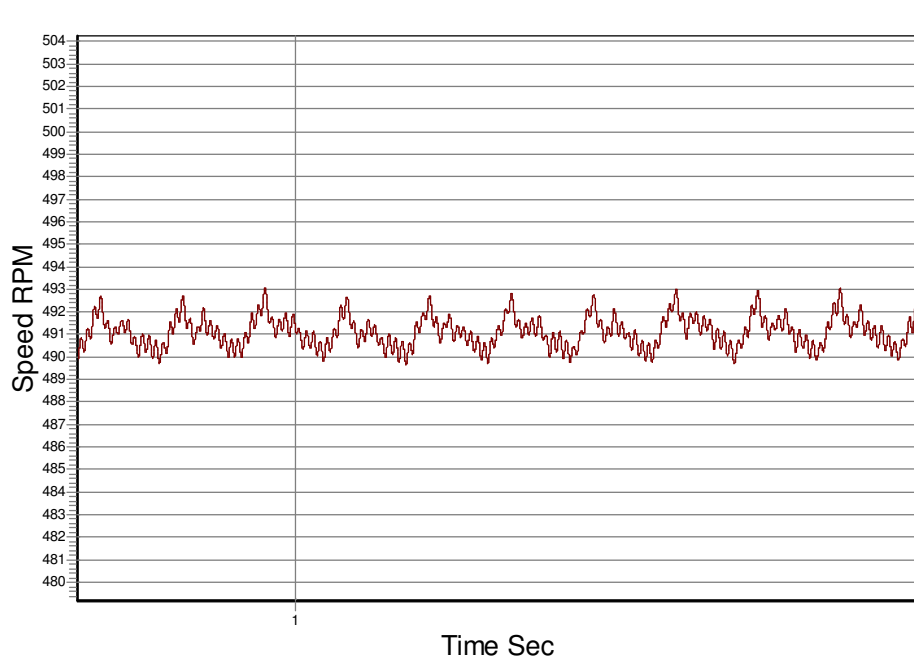


圖 5: 好的 #24 馬達在穩態運轉之下，速度振盪和時間的函數曲線圖

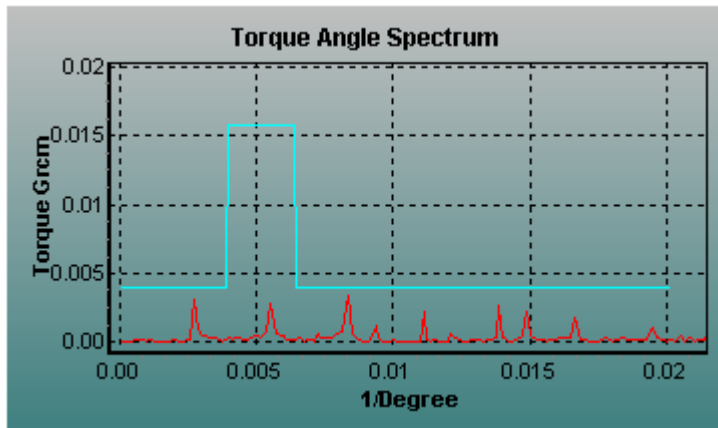


圖 6: 好的 #24 馬達，在公差範圍內的扭矩振盪和反轉角度的函數曲線圖

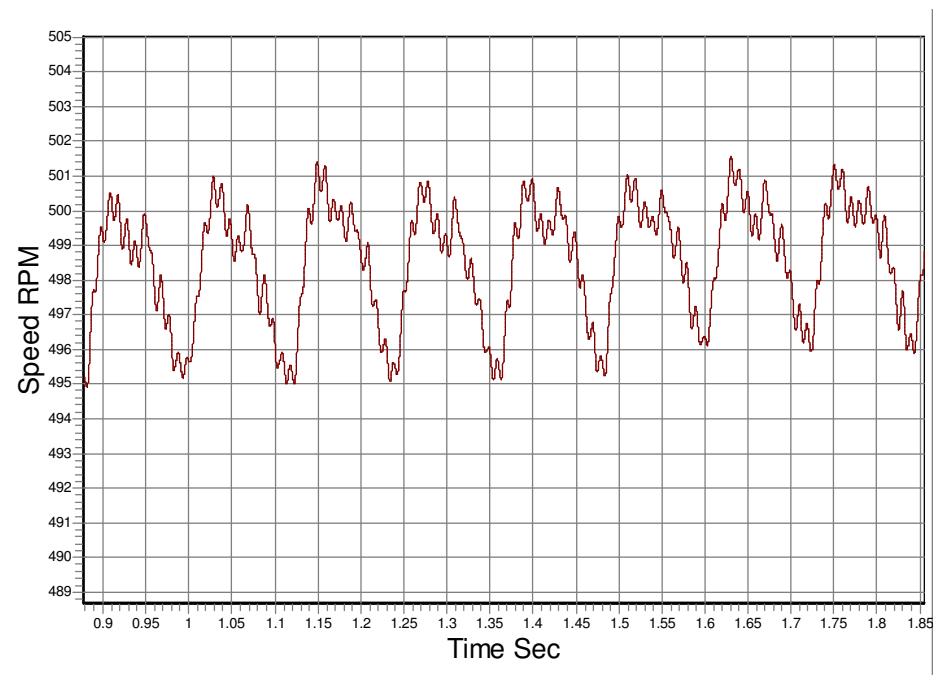


圖 7: 在穩態的操作條件下 1# 馬達，因其軸承故障，很明顯的速度振盪和時間的函數曲線圖和圖 5 差異很大。

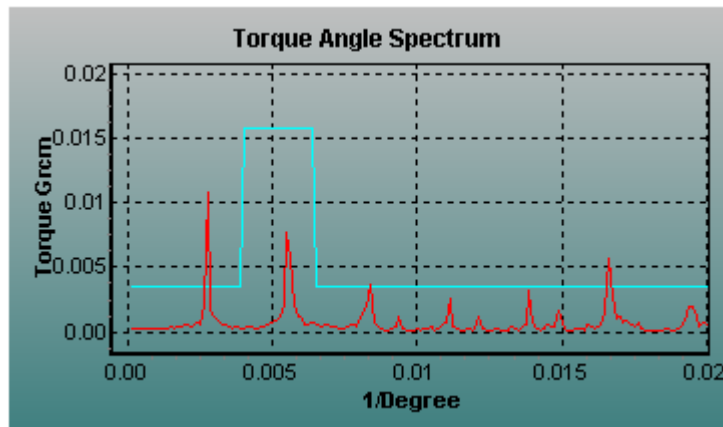


圖 8: 軸承故障的 1 # 馬達, 其扭矩振盪和反轉角度的函數曲線圖, 明顯的看出振幅已經超出公差範圍

## 結論

利用 M.E.A 測試系統, 能夠檢測出所有在馬達生產和品管過程中的機械和電氣故障。雖然目前的研究僅限於機械故障的檢測, 這種故障相對來說通常是很難被發現的。但是 M.E.A 的系統有能力完成檢測。乍看之下感覺使用了大量的鑑別標準會很複雜, 但是, 要考慮到所有的測試都是由一台設備進行的, 只需一個或是最多兩個步奏即可完成, 而且讀取, 評估和顯示結果所需時間也只要幾秒鐘。即使要降低工作電壓, 但是測試所需時間增加的很少。

M.E.A 系統優於傳統的測試方法, 能提供最高的安全性以及讓傳統未能檢測出的故障馬達無法通過。M.E.A 測試驗證系統符合 *IEEE Std 112-1996 Method 2* 標準。軟體提供的測試報告可當作被測試產品質量完好的認證文件。

## 參考文獻：

1. New Technology Speeds Motor Testing  
Appliance (USA) June 2002
2. Electric Motor Testing on the Production Line  
Yoram Tal  
Appliance (USA) October 2003
3. Prüfung von Elektromotoren in Sekunden  
Alfred Wunsch  
Technische Rundschau (Switzerland) 7/2004
4. Dynamic Testing of Electro Motors for Fault and Noise Analysis  
Alfred Wunsch, Ronen Schmerler  
Appliance (USA) October 2004



5. Prüf- und Monitoring-System elektrischer Antriebe

Alfred Wunsch

ETZ 4/ 2005 (Germany)

Author: Dipl.-Ing. Alfred K. Wunsch

EC ENERGOCONSULT

Müntzbergstrasse 8

CH-5400 Baden/Switzerland

Tel. +41 56 222 09 30

Fax +41 56 222 08 66

[energoconsult@hispeed.ch](mailto:energoconsult@hispeed.ch)