

# 馬達變頻驅動設備 維護保養量測技術



美國福祿克公司  
台灣辦事處

鄧旭智  
**Edmund Teng**

[edmund.teng@fluke.com](mailto:edmund.teng@fluke.com)

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

- 變頻器操作原理

如何改變馬達轉速?!



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

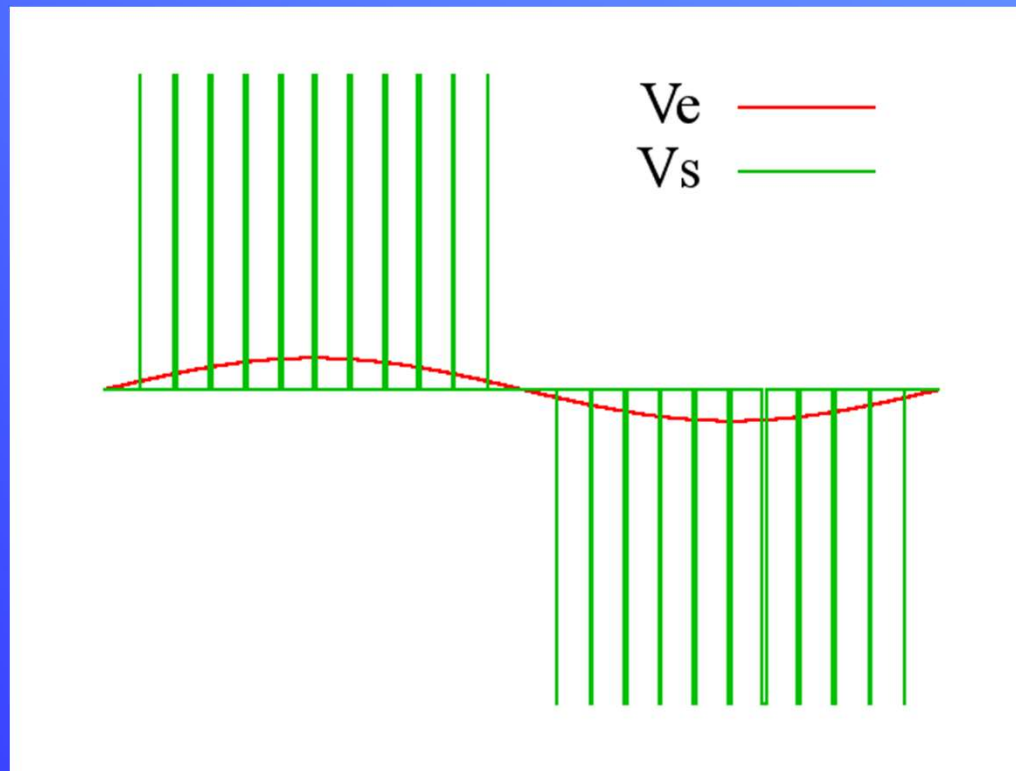
- 變頻器操作原理  
馬達轉速

$$N_s = \frac{120f(\text{r/min})}{P}$$

**N<sub>s</sub>** : 同步轉速 ( r / min )  
**P** : 馬達極數  
**f** : 頻率 ( Hz )  
**120** : 常數

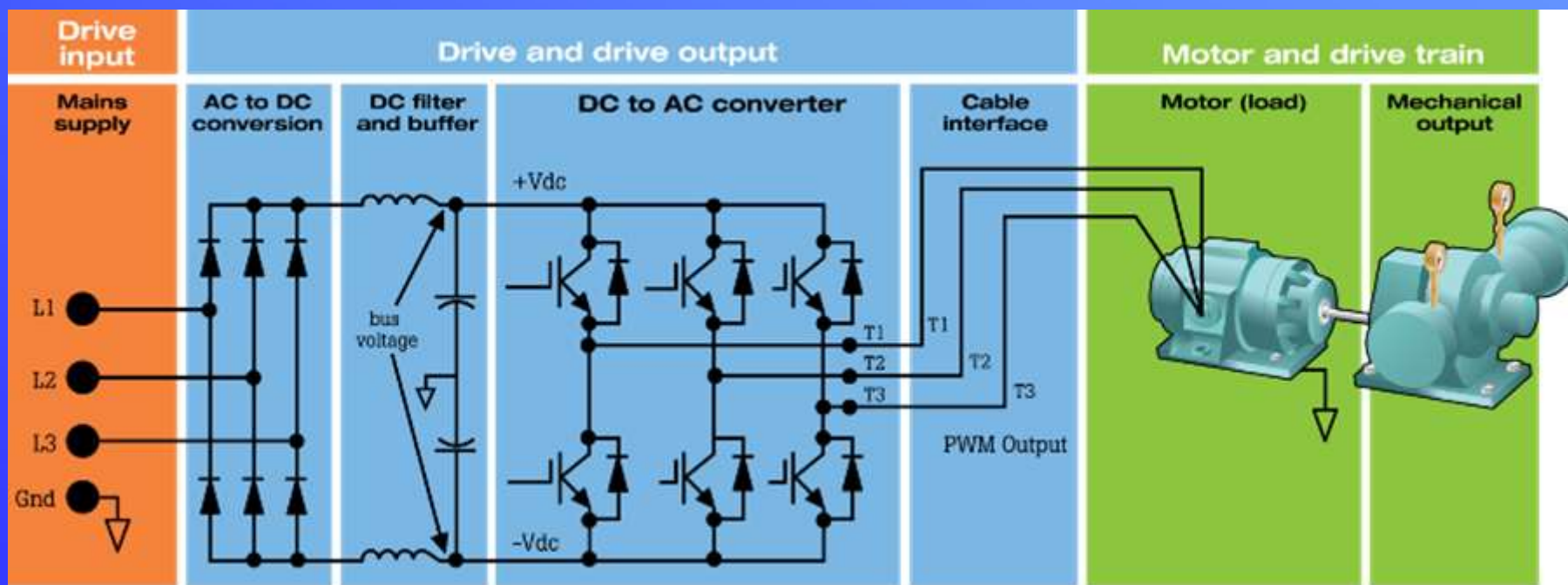
# 馬達變頻器系統與電力品質測量

- 變頻器操作原理  
SPWM



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

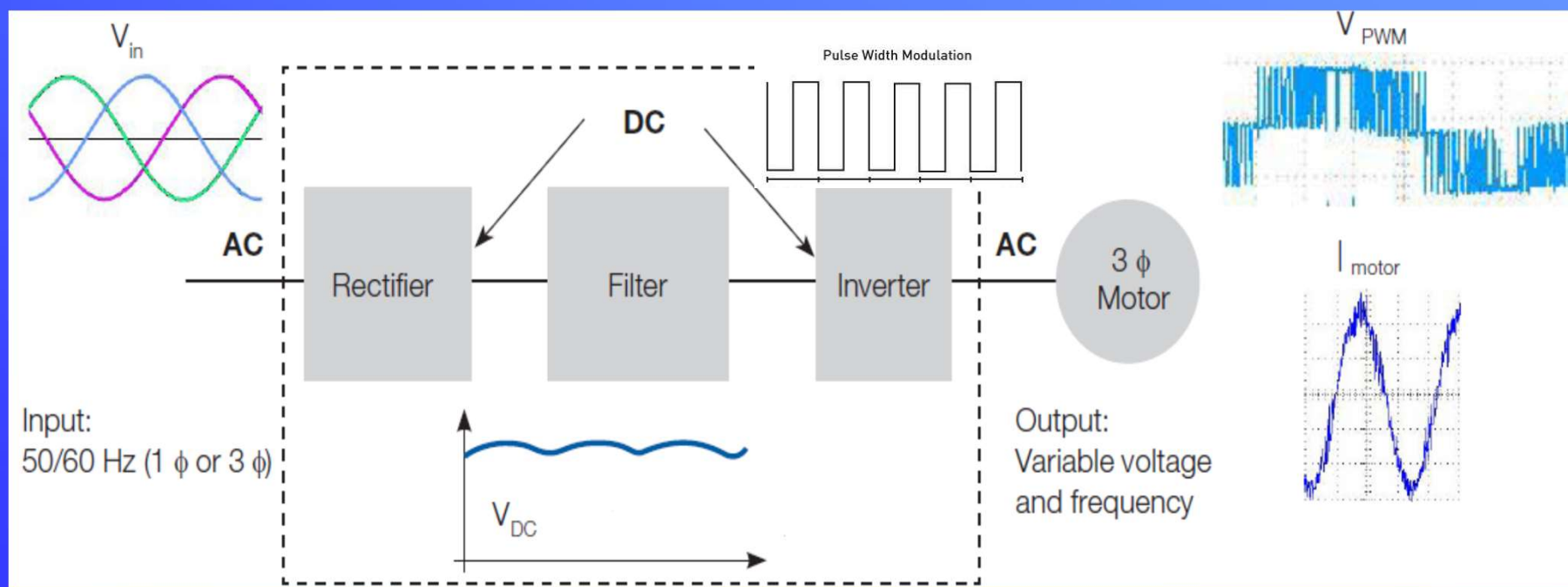
- 變頻器操作原理  
變頻驅動器架構





# 馬達變頻器系統與電力品質測量

- 變頻器操作原理  
變頻驅動器動作原理



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

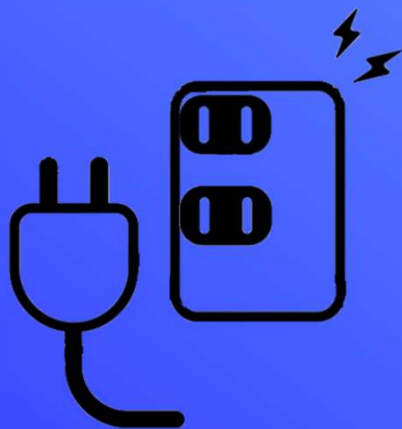
## 對可調速驅動器進行電氣測量



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量



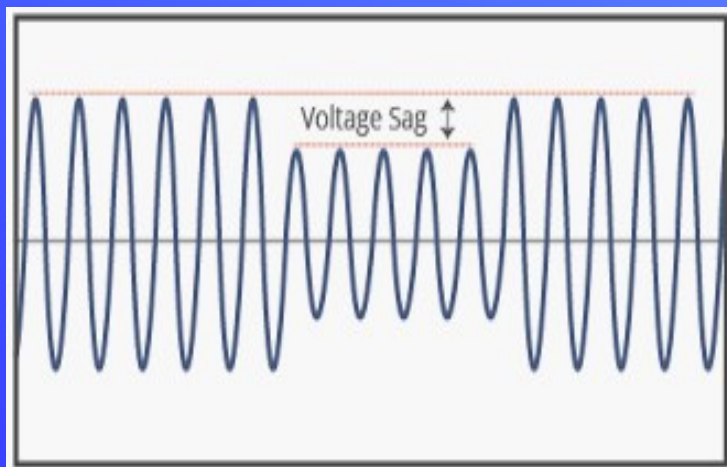
- 電壓驟降/驟升/中斷
- 電源諧波
- 不平衡



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻器電源輸入端－電力品質測量：電壓驟降/驟升/中斷



- 電壓驟降超出設備容忍程度, ASD 因低電壓跳脫, 馬達減速停止運轉
- 負載過重, 過電流使ASD跳脫
- 電壓擾動時間超過ASD設定而跳脫, 馬達減速進而停止運轉

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻器電源輸入端－電力品質測量：電壓驟降/驟升/中斷

# 思考...

如果運轉設備因電力中斷


我們希望獲得哪些電力方面的訊息？



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

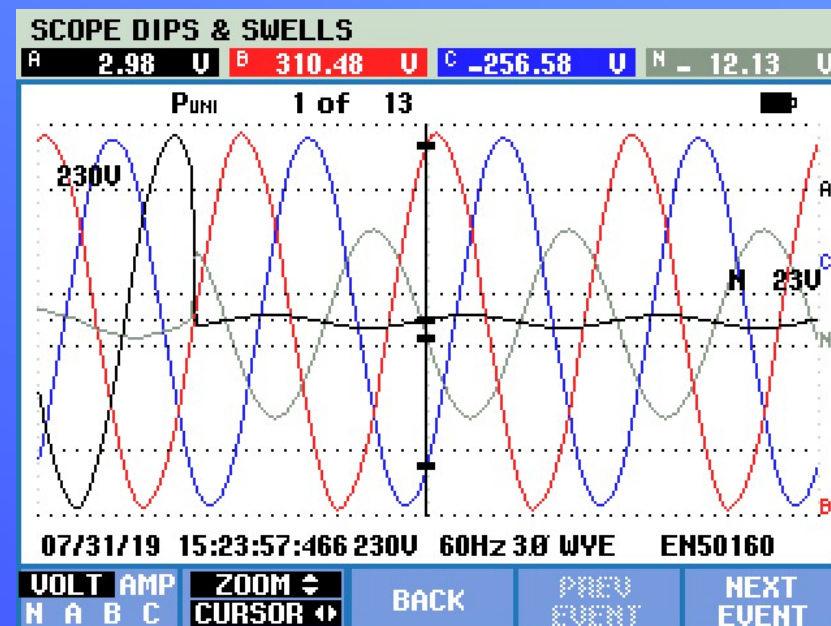
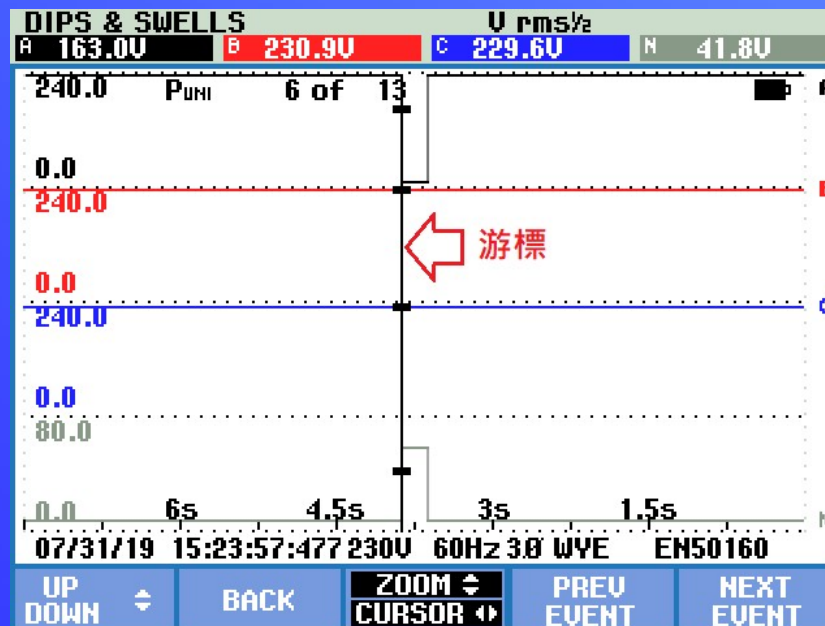
變頻器電源輸入端－電力品質測量：電壓驟降/驟升/中斷

DIPS & SWELLS				
START 07/31/19 15:23:46			EVENT 6 / 6	
P <sub>UNI</sub>		0:00:39		
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
07/31/19	15:23:57:465	A DIP	8.1 U	0:00:00:257
07/31/19	15:23:57:722	A TRA	> 115U	
07/31/19	15:23:56:217	A CHG	14.8 U	0:00:01:473
07/31/19	15:24:05:912	B DIP	10.1 U	0:00:00:226
07/31/19	15:24:15:285	C DIP	7.9 U	0:00:00:259
↔ 07/31/19	15:24:15:285	C TRA	> 115U	
07/31/19 15:24:26 230V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
WAVE EVENT	RMS EVENT	NORMAL DETAIL		BACK

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

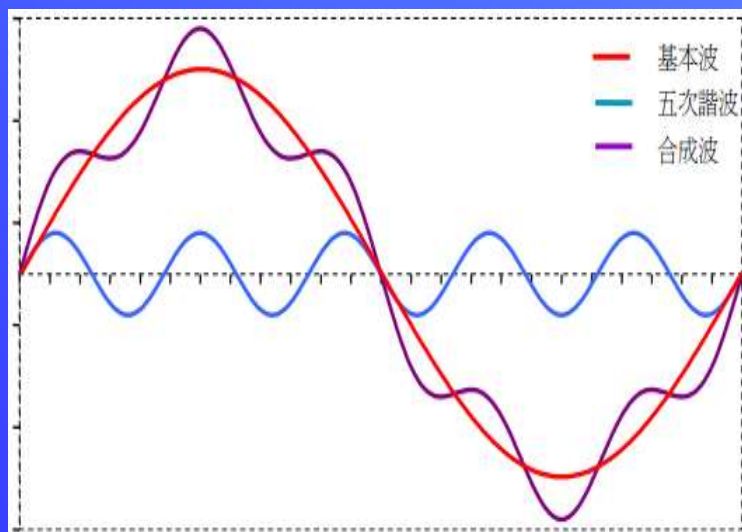
變頻器電源輸入端－電力品質測量：電壓驟降/驟升/中斷



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：諧波

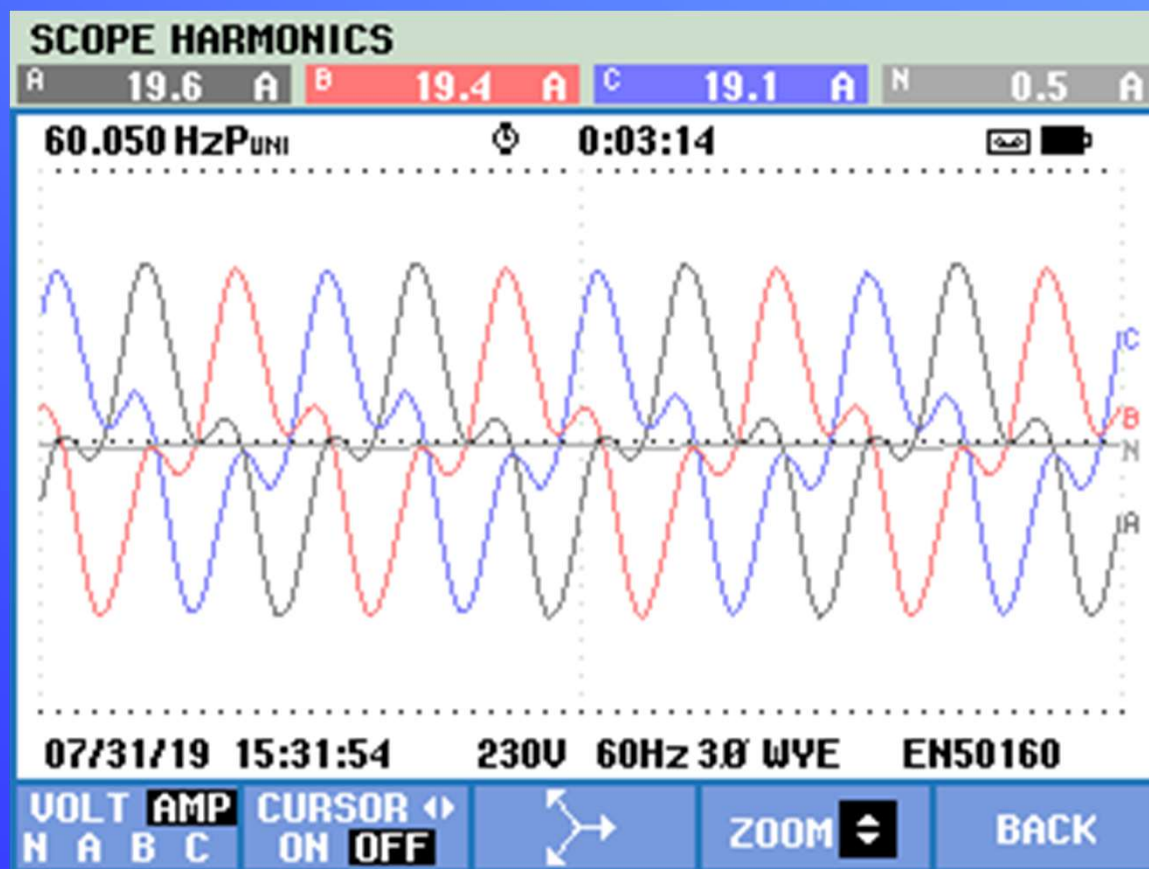


- 電纜線之中,若存在諧波,會過熱問題,進而損壞電纜絕緣
- 電容器也會因為諧波產生過熱現象,也會造成介電質的損壞
- 使變頻器系統在運行中出現驅動故障、過熱故障

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：諧波-波形

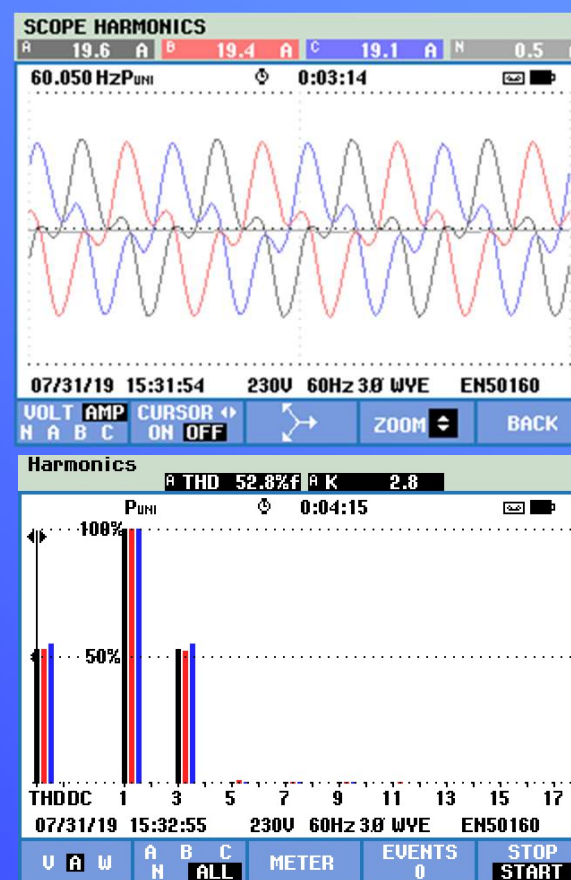
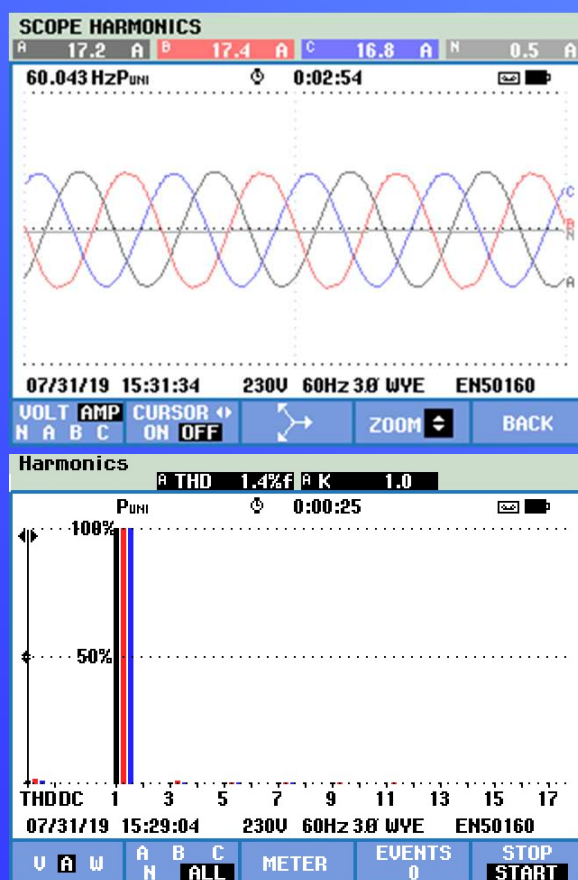




# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：諧波-條狀圖



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：諧波-數據列表

諧波表格

PUNI 0:01:14				
Volt	A	B	C	N
THD%f	1.3	1.3	1.3	7.7
Volt	A	B	C	N
DC%f	0.0	0.1	0.0	1.0
Volt	A	B	C	N
H1%f	100.0	100.0	100.0	100.0
Volt	A	B	C	N
H2%f	0.0	0.0	0.0	0.1
07/31/19 15:29:53 230V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
UP DOWN	HARMONIC GRAPH	TREND	EVENTS 0	STOP START

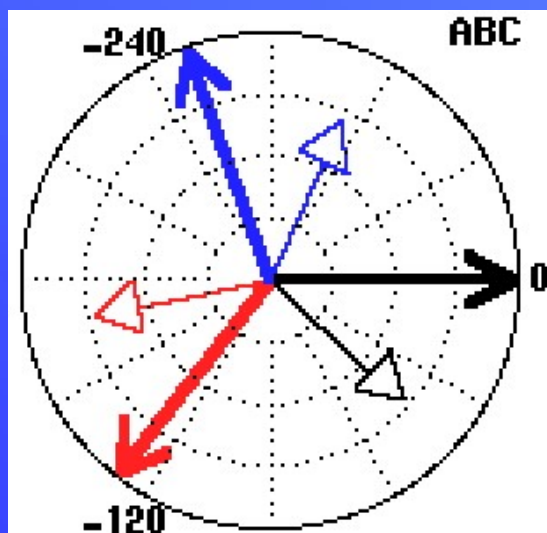
諧波表格

PUNI 0:03:55				
Amp	A	B	C	N
THD%f	52.5	52.1	54.8	7.7
Amp	A	B	C	N
DC%f	0.0	0.0	0.0	0.0
Amp	A	B	C	N
K-factor	2.7	2.7	2.8	1.4
Amp	A	B	C	N
H1%f	100.0	100.0	100.0	100.0
07/31/19 15:32:35 230V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
UP DOWN	HARMONIC GRAPH	TREND	EVENTS 0	STOP START

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：三相不平衡

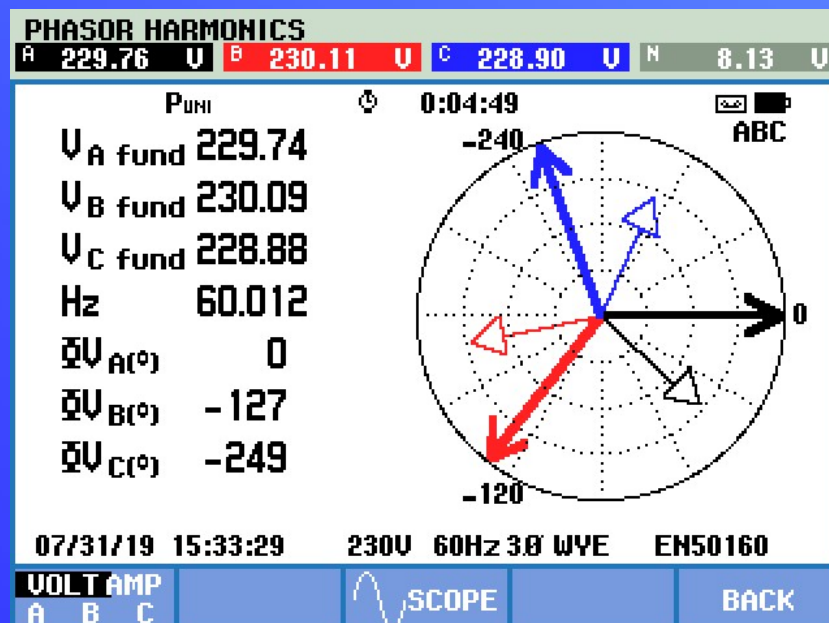


- 驅動器輸入端2%~3%的電壓不平衡, 也會導致電壓缺口,造成一相或多相過電流, 導致過電流保護裝置跳閘
- 電流不平衡 應該小於6% (具體取決於負載電流和電路容量)
- 1%的電壓不平衡會導致3~4%電流不平衡; 過大的電流不平衡會造成驅動器整流器出現問題而使得馬達過熱

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻器電源輸入端－電力品質測量：三相不平衡



不平衡

PUNI 0:00:08

	$V_{\text{neg.}}$	$V_{\text{zero}}$	$A_{\text{neg.}}$	$A_{\text{zero}}$
unbal (%)	5.1	4.7	6.3	5.3
	A	B	C	N
$V_{\text{fund}}$	229.61	229.96	228.72	8.10
	A	B	C	N
$\angle V(^{\circ})$	0.0	-127.3	-249.1	-111.0
	A	B	C	N
$A_{\text{fund}}$	17.4	17.3	16.8	0.5

07/31/19 15:34:04 230V 60Hz 3Ø WYE EN50160

UP DOWN BACK TREND EVENTS 0 STOP START

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 電壓&電流不平衡計算

$$\begin{array}{l} \text{不平衡\% (電壓或電流)} \\ \% \text{ (V or I) Imbalance} = \frac{\text{電壓或電流最大偏差} \\ \text{Max. Deviation (V or I)}}{\text{Average (V or I)} \\ \text{平均(電壓或電流)}} \times 100 \end{array}$$

*For example:*

$$\begin{array}{r} 449 \\ 470 \\ +462 \\ \hline 1381 \end{array}$$

三相值加總

$$\textcircled{2} \quad \frac{1381}{3} = 460$$

除以3(求平均值)

$$\textcircled{3} \quad \frac{11}{460} \times 100 = 2.39 \%$$

$$449 - 460 = 11$$

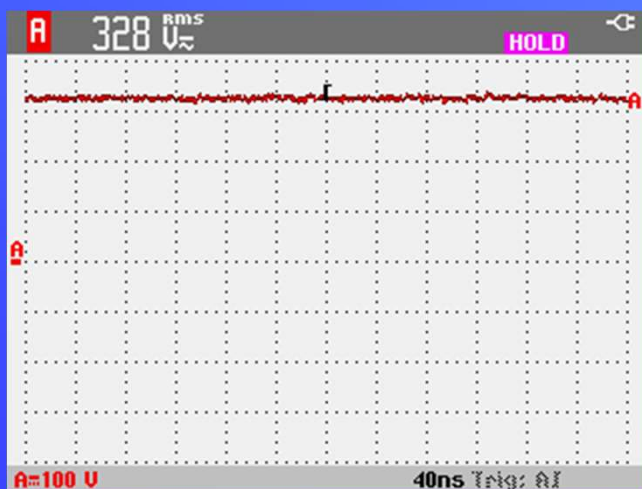
(偏差11為最大)

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動整流/濾波 – DC Bus & 漣波測量

#### ● DC Bus 測量



- 直流電壓電為用來檢查驅動器內部DC Bus的數值及穩定性
- 可調速驅動器跳脫問題
  1. DC Bus 過電壓
  2. DC Bus 欠電壓

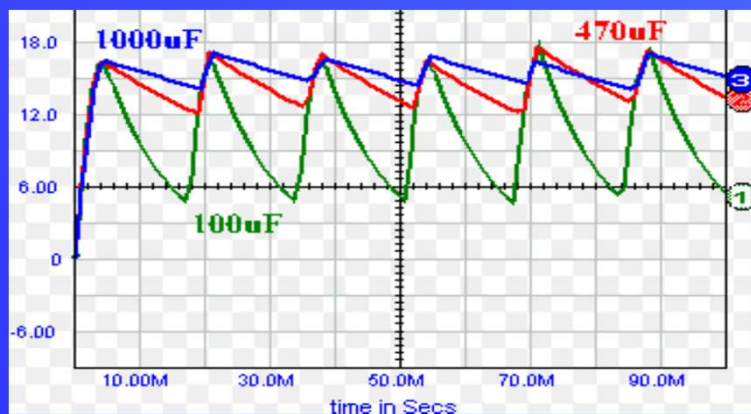
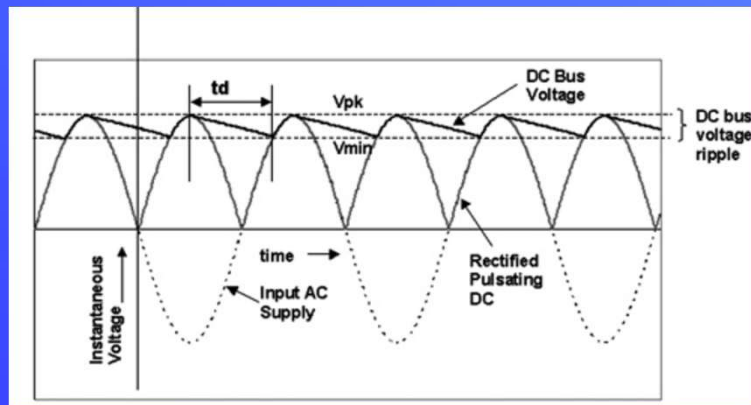


# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動整流/濾波 – DC Bus & 漣波測量

- 漣波測量

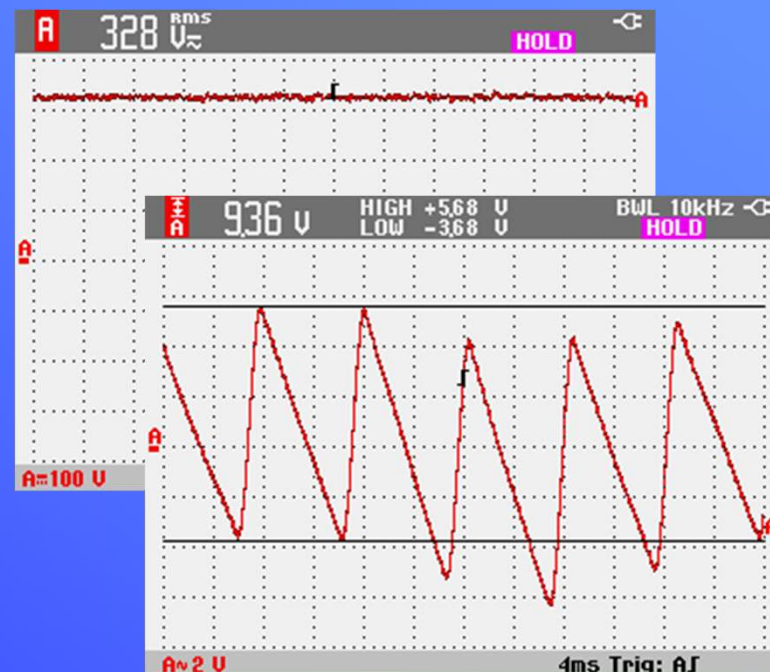
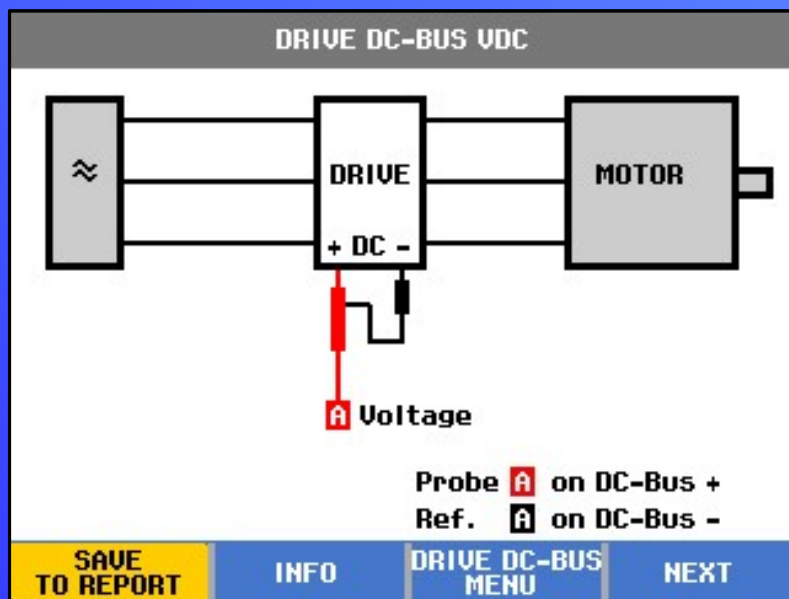


- 交流電壓漣波用於檢測DC Bus上的快速波棟及交流分量
- 漣波峰值具有不同的重複電位, 可能為其中一個整流器故障
- 超過40V的漣波電壓可能由電容器故障引起

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動整流/濾波 – DC Bus & 漣波測量

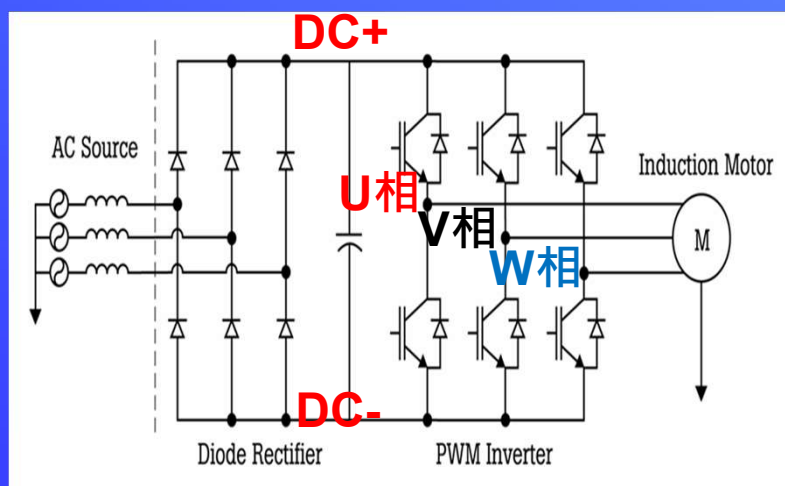


# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動直流轉交流轉換器 – IGBT測量

#### ● IGBT波形測量



#### 觀察IGBT波形接線

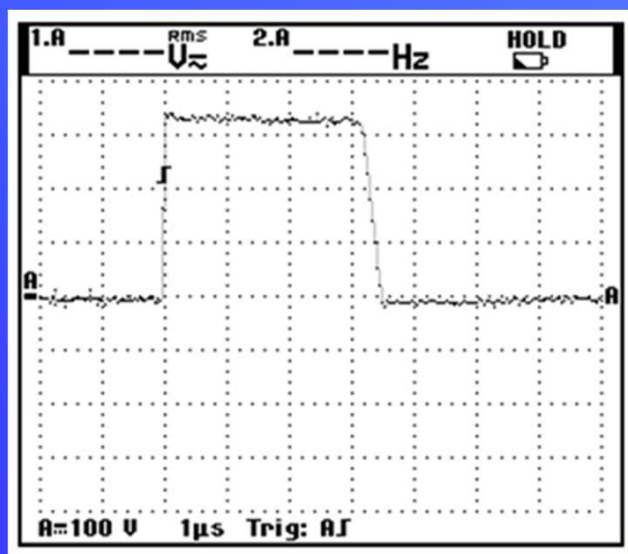
1. 通過將示波器公共導線連接到 dc+ 母線，並在變頻器的電機輸出端子處測量三相中的每一相來檢查正向導通IGBT。
2. 通過將公共導線連接到 dc- 母線，並在變頻器的電機端子處對三相中的每一相進行與上面第 1 步中所述相同的測量，來檢查反相導通IGBT

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動直流轉交流轉換器 – IGBT測量

#### ● IGBT波形測量



1. 檢查是否顯示邊沿清晰的良好方波
2. 脈衝內應沒有任何可見的雜訊
3. 檢查是否所有三相的波形具有相同外觀

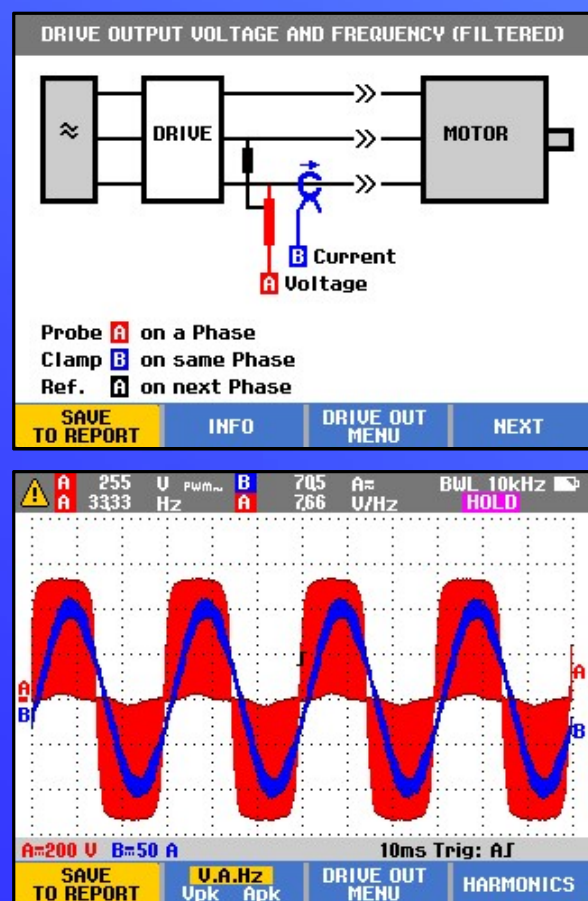
#### IGBT洩漏檢查

- 啟動驅動器,速度設定為零,量測變頻器的馬達輸出端子之間的電壓.應該是 <40 VAC 檢查有無輸出電晶體洩漏
- 若有洩漏電流,此電壓將會比正常值高過3~4倍
- 測量已知正常的驅動器上進行測量,已確定正常的電壓

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: V/Hz比例

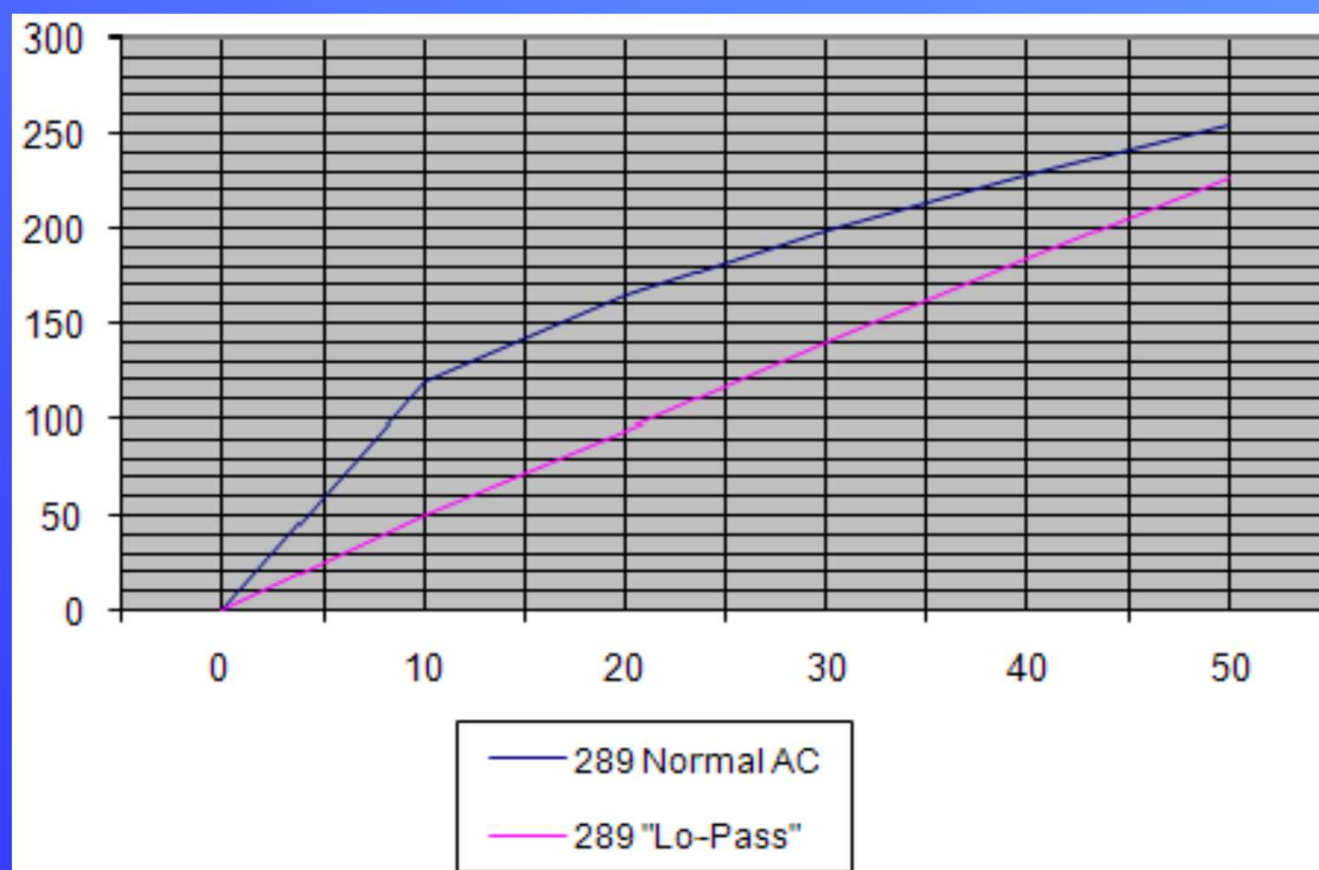


- 測量兩相之間的電壓和其中一相的電流。
- 檢查變頻器輸出電壓和電流是否在馬達極限範圍內。如果輸出電流過高，馬達可能會變熱並導致定子絕緣壽命降低。
- 檢查電壓/頻率比 (V / Hz) 是否在馬達的規定範圍內。如果V / Hz過高，馬達可能會過熱，如果V / Hz過低，馬達將失去扭矩。
- 穩定的Hz，不穩定的V指向DC Bus問題。不穩定的Hz，穩定的V指向IGBT問題。不穩定的Hz和V指向速度控制電路。

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: V/Hz比例

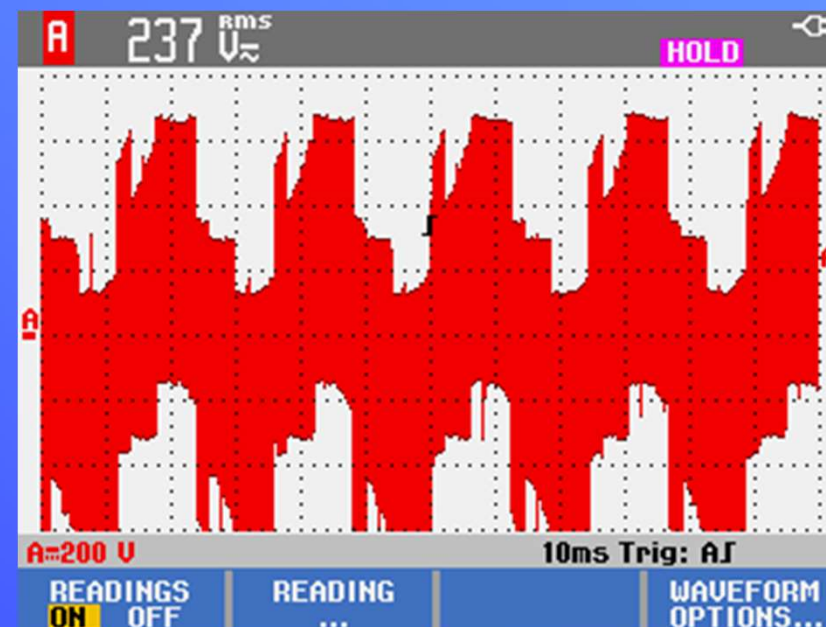
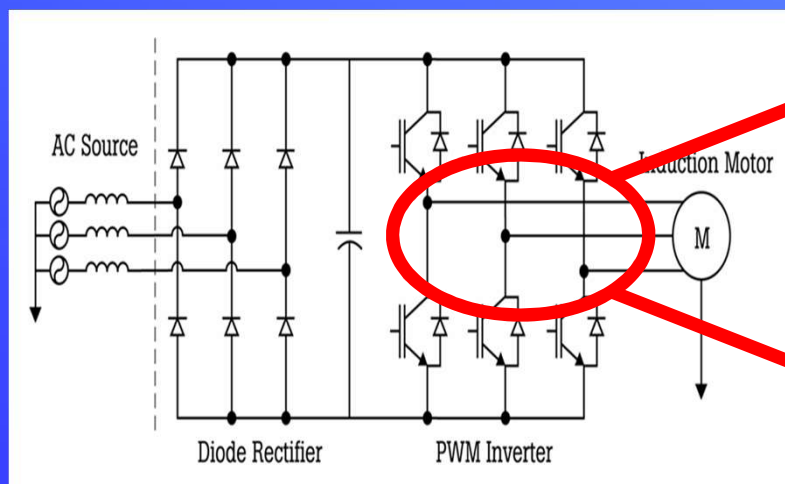




# 馬達變頻器系統與電力品質測量

對可調速驅動器進行電氣測量

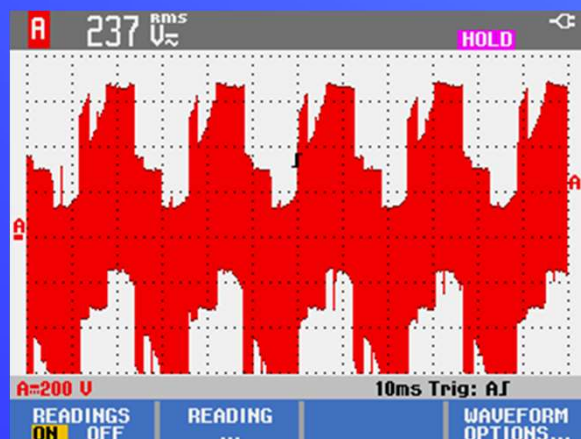
變頻驅動輸出 –  $V_{pwm}$  相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪



#### 過電壓震盪原因

- 脈衝上升時間短及較長電纜結合, 造成電纜與馬達間阻抗不匹配, 而產生震盪波形

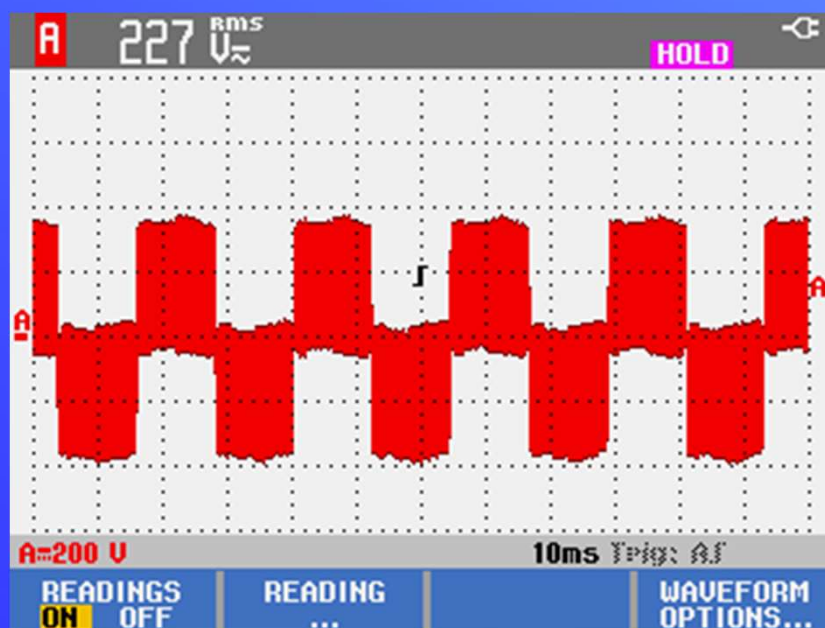
#### 過電壓震盪影響

- 普通馬達繞阻絕緣很快被擊穿
- 產生高於正常值的軸電壓, 造成軸承提前出現故障
- 過高的共模雜訊(洩漏電流)可能干擾低壓控制訊號

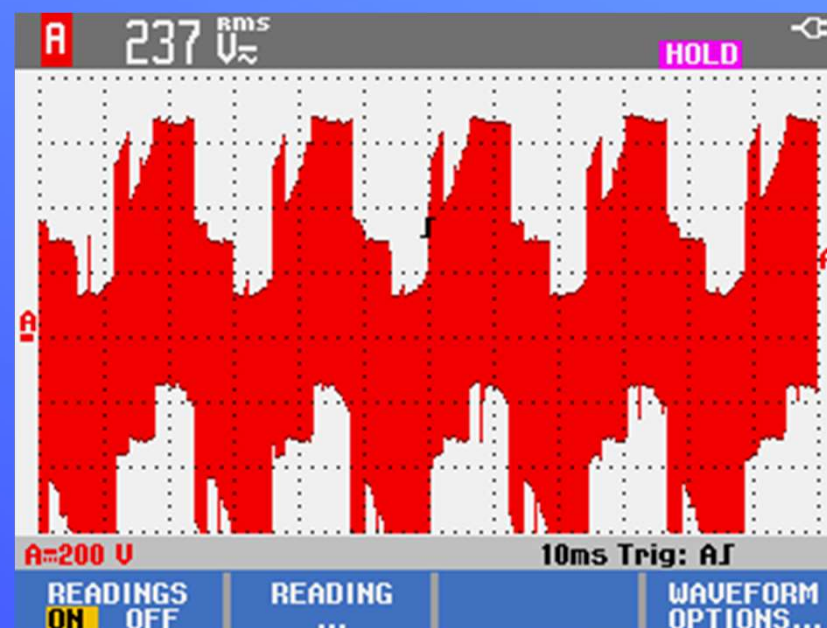
# 馬達變頻器系統與電力品質測量

對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 –  $V_{pwm}$  相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪



正常PWM波形

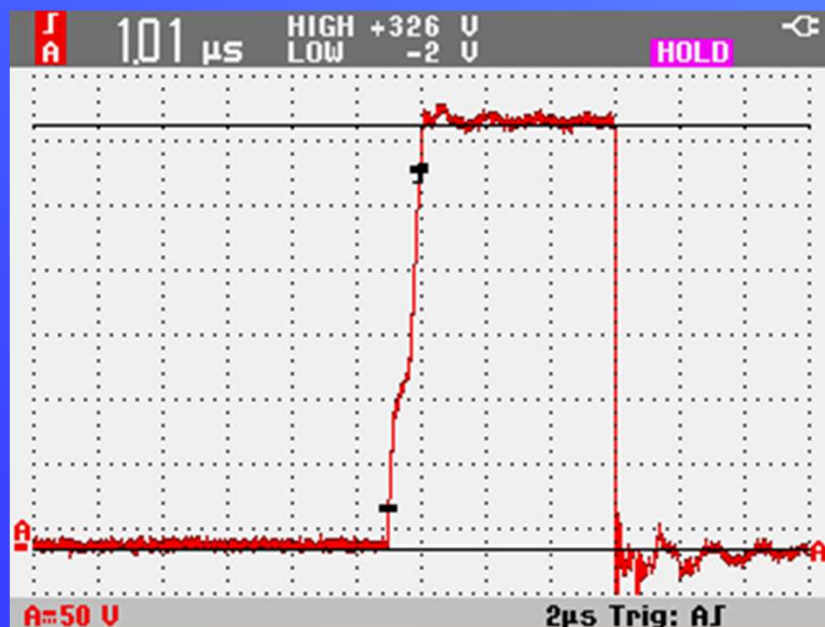


有反射電壓PWM波形

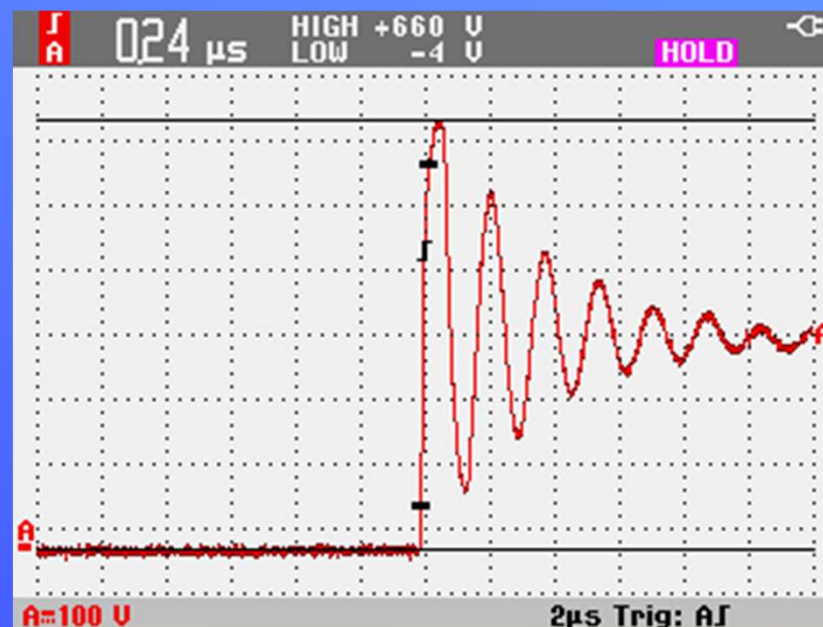
# 馬達變頻器系統與電力品質測量

對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪



正常PWM波形放大



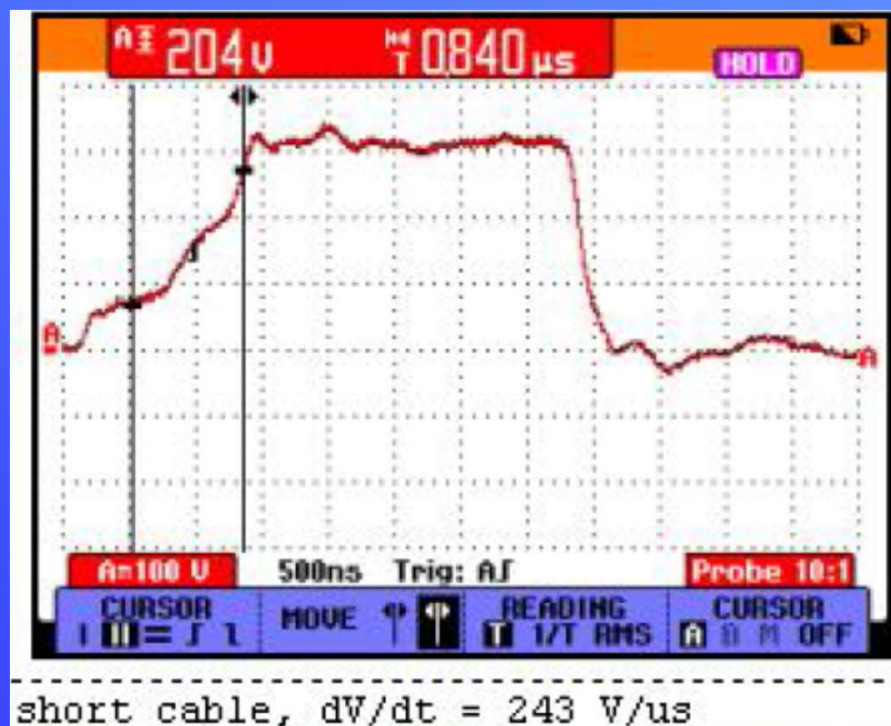
有反射電壓PWM波形放大



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

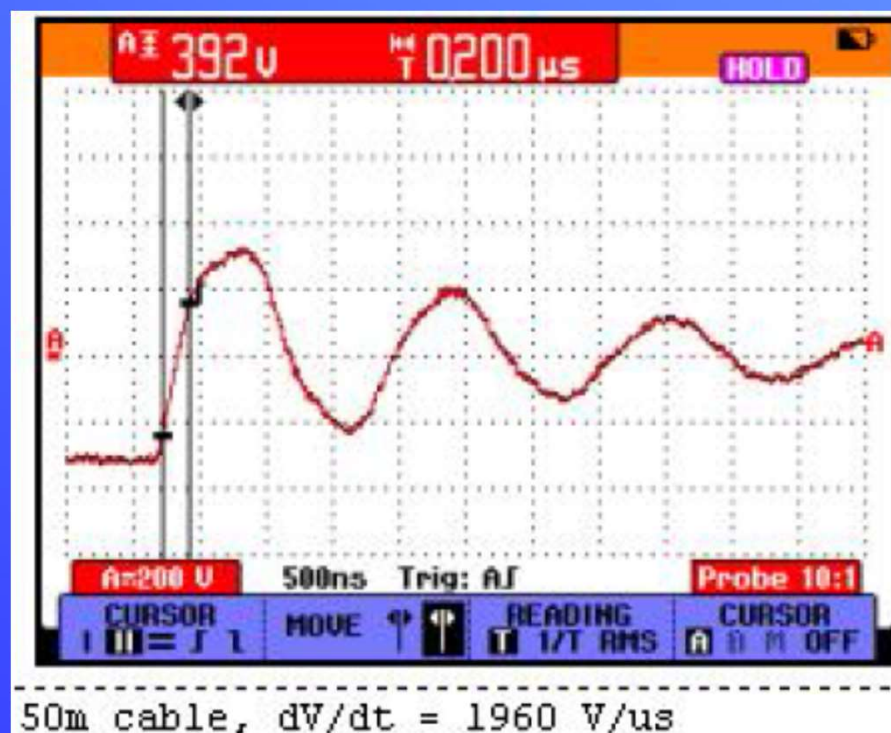
變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪  
舉例: Short Cable



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 – V<sub>pwm</sub> 相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪  
舉例: 50m cable

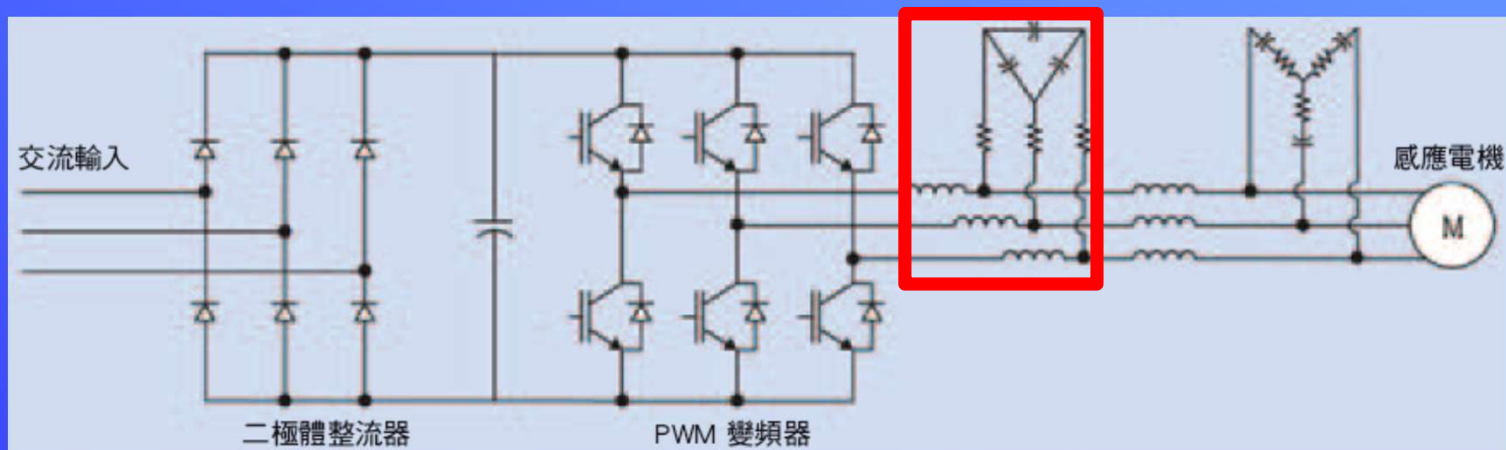




# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 –  $V_{pwm}$  相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪  
解決方案

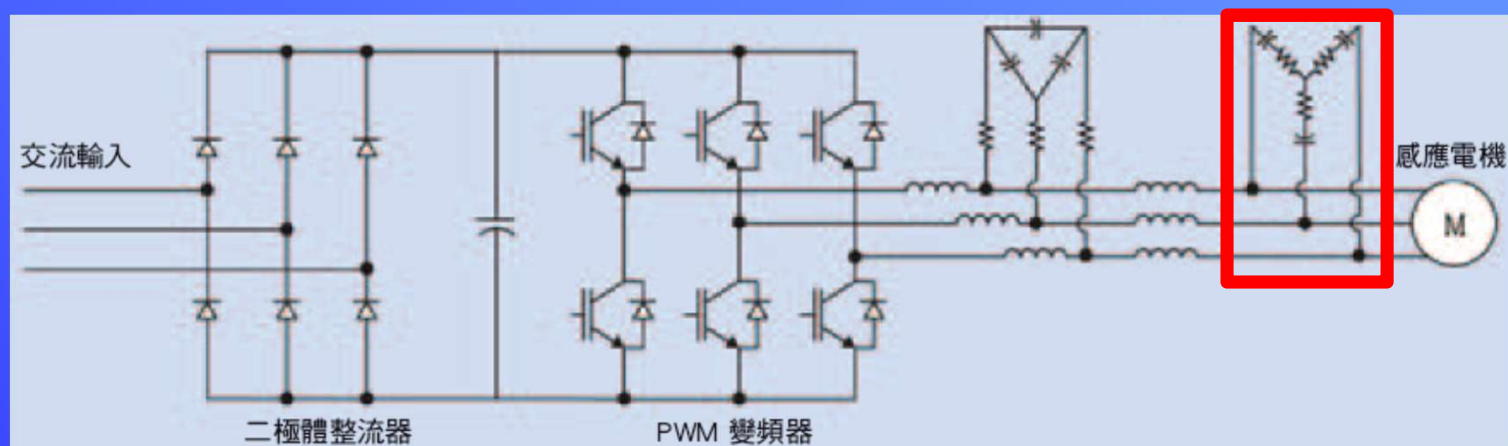


1. 可在 PWM 輸出端子與連接到電機的電纜之間安裝一個“附加的”外部低通濾波器，以延長上升時間。

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 –  $V_{pwm}$  相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪  
解決方案

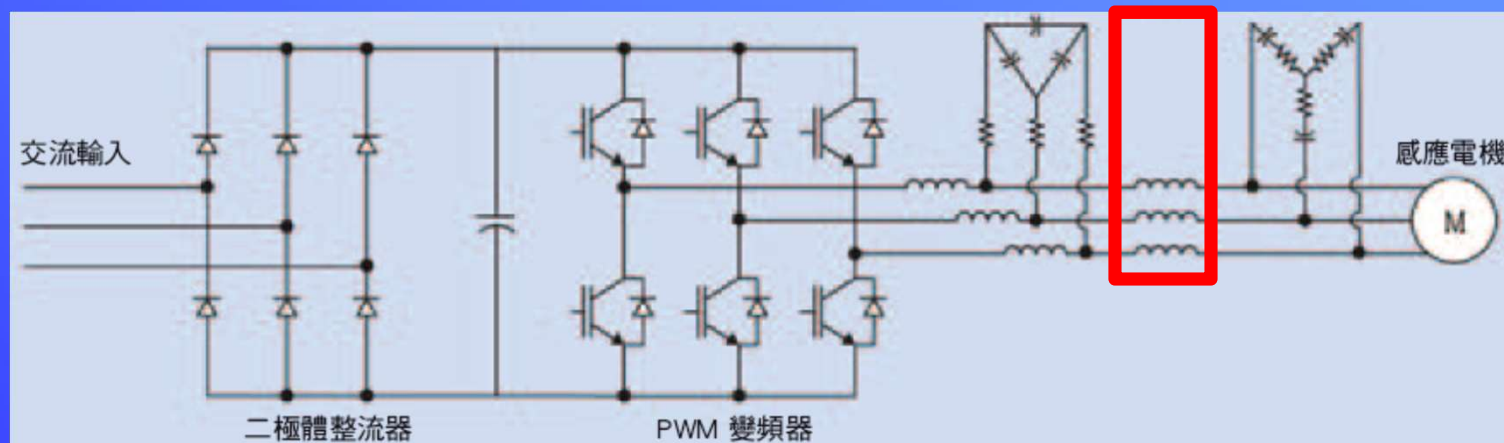


1. 可在 PWM 輸出端子與連接到電機的電纜之間安裝一個“附加的”外部低通濾波器，以延長上升時間。
2. 在電機端子處安裝一個 R-C 阻抗匹配濾波器，以將過電壓或振盪效應降到最低程度。

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

變頻驅動輸出 –  $V_{pwm}$  相間測量: 馬達端子觸過電壓震盪  
解決方案

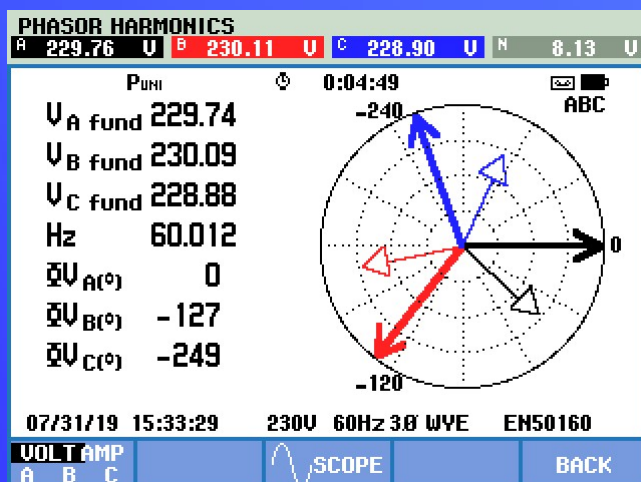


1. 可在 PWM 輸出端子與連接到電機的電纜之間安裝一個“附加的”外部低通濾波器，以延長上升時間。
2. 在電機端子處安裝一個 R-C 阻抗匹配濾波器，以將過電壓或振盪效應降到最低程度。
3. 在 PWM 輸出端子與連接到電機的電纜之間安裝串聯電抗器

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 機械接端 - 電壓&電流不平衡



- 檢查三個電機端子相間電壓不平衡, 僅僅2%電壓不平衡也能造成因定子繞組中流過不平衡電流而發生過熱.並導致電機轉矩損失.
- 檢查電流不平衡(< 10 %).確保電流不超過電機銘牌連續額定電流.
- 如果電壓不平衡在可接受的限度內,則任何檢測到電流不平衡都可能表明電機繞組發生短路.或一相或多相對地短路.

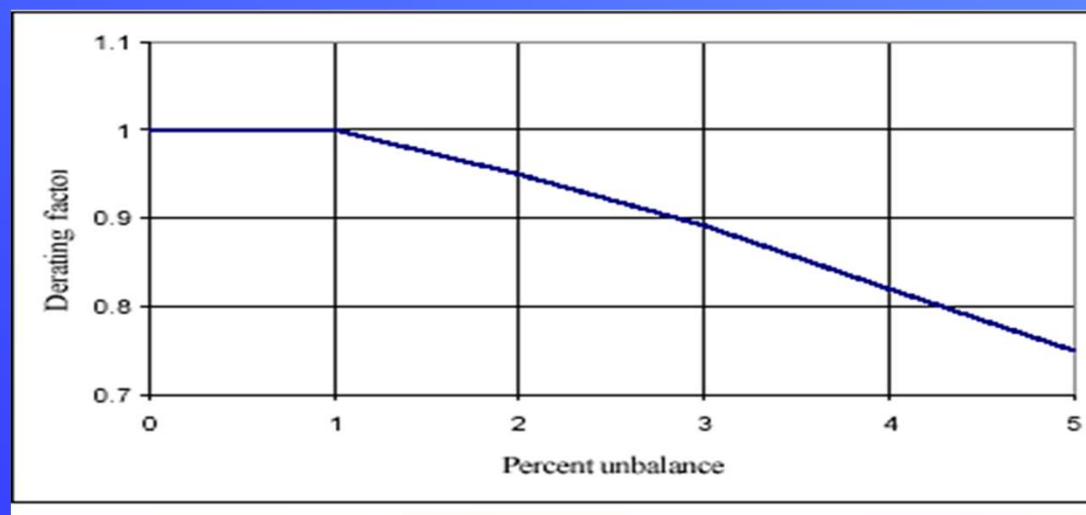
# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 機械接端 - 電壓&電流不平衡

- 3%不平衡將讓馬達只能達到90%額定馬力規格運轉,馬達將會有「降額」的現象
- 重新分配每相負載，以達平衡

降額因數



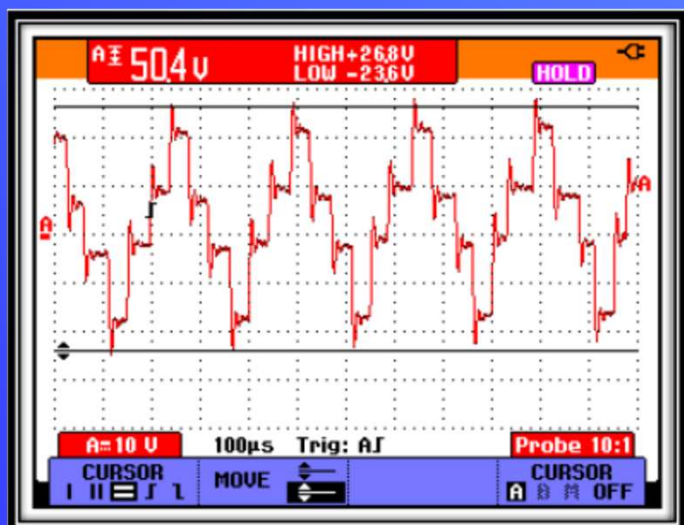
不平衡%



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 機械接端 - 馬達軸承電壓



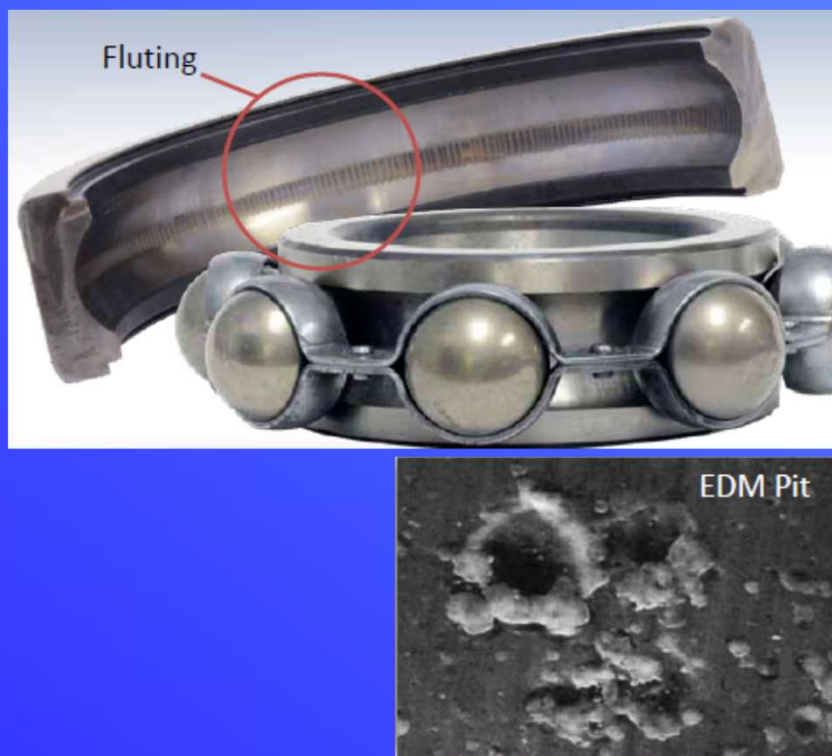
- 由於氣隙中的磁場具有很小的不對稱性，因此定子繞組到轉子軸之間存在不可避免的正常軸承電壓。這種電壓在電機設計中是固有的。大多數感應電機都具有  $< 1 \text{ Vrms}$  的對機座接地端的最大軸電壓。
- 電機軸電壓的另一個來源是內部靜電耦合源，包括：皮帶傳動聯軸器、通過轉子風扇葉片的電離空氣或通過轉子風扇葉片的高速空氣（如蒸汽輪機的空氣）。



# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

### 機械接端 - 馬達軸承電壓



在 60 Hz 正弦波操作中，軸承擊穿電壓大約為 0.4 至 0.7V。

對於 PWM 驅動器中發生的瞬變電壓的快速邊沿來說，潤滑脂絕緣擊穿實際上是在更高的電壓下（大約為 8 至 15 V）發生的。這個較高擊穿電壓會產生較高的軸承閃絡電流，可在較短時間內對軸承造成較高程度的破壞。

研究表明，低於 0.3 V 的軸電壓是安全的，不足以產生具破壞力的軸承電流

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 對可調速驅動器進行電氣測量

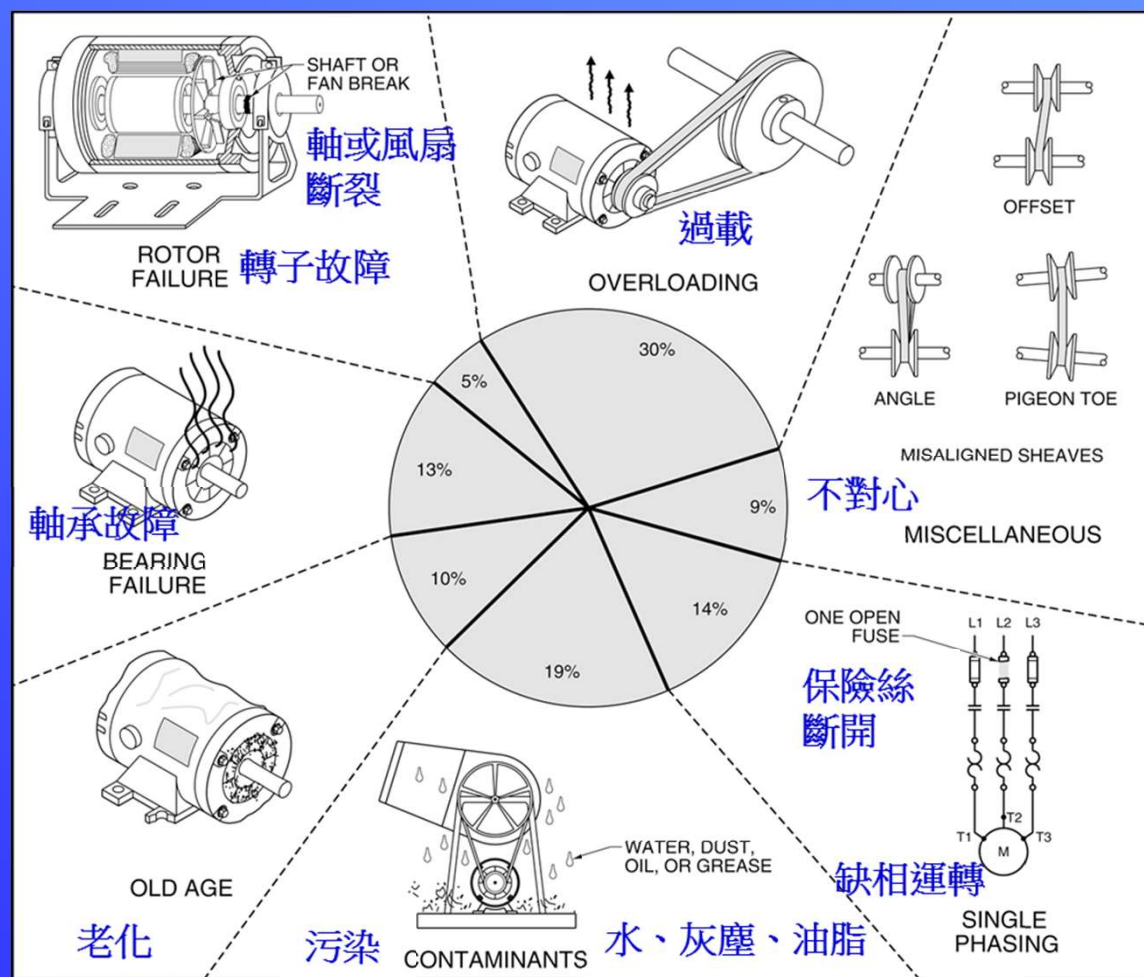
### 機械接端 - 馬達軸承電壓



- 馬達軸承雜散電流:當軸電壓超過潤滑油的絕緣能力之後就會出現軸承雜散電流
- 在馬達發熱後，進行測量
- 最簡單解決方案是將載波頻率降10kHz以下，儘可能降至4 kHz以下
- 馬達內的軸承接地設備, 軸承絕緣, 法拉第屏蔽 ,ASD和馬達之間導熱潤滑油或進行濾波

# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 馬達常見故障問題及測量



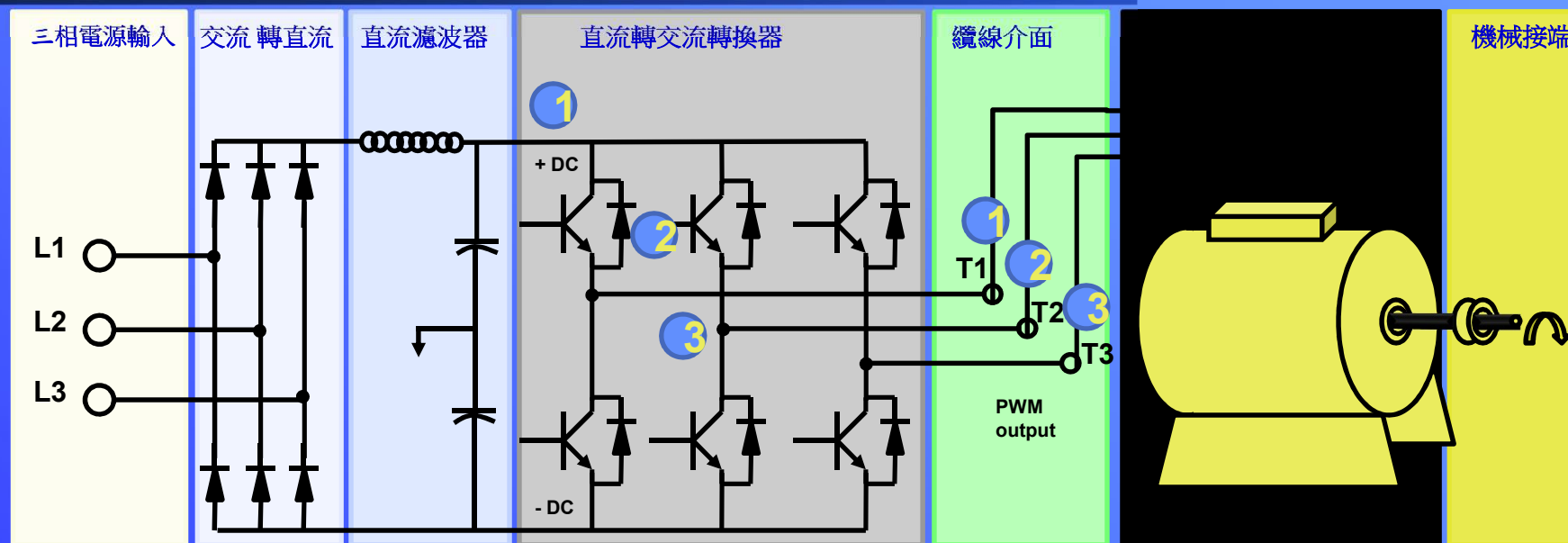
# 馬達變頻器系統與電力品質測量

## 馬達常見故障問題及測量

### 造成馬達內部發熱原因

- 相電壓、電流不平衡
- 缺相運轉 – 其中一相斷開
- 過載
- 馬達過度重複啟動、停止運轉
- 缺乏良好通風
- 污染
- 軸承磨耗，潤滑不當

# 變頻系統檢測儀器介紹



## 問題

- 諧波
- 突波
- 負載
- 缺陷整流器
- 電解電容故障
- 雜訊過多
- 故障IGBT開極
- “Slivers” – 開極不同步
- 反射
- 突波
- 功率/過載
- $\emptyset$ , V/Hz (扭力)
- 軸承電流
- 軸承故障
- 過熱
- 聯軸器振動
- 過載



**F435II**  
電力品質分析儀



**F 289**  
電表



**F125**  
示波器



**F190**  
示波器



**F190**  
示波器



**Ti 401PRO**  
熱影像儀

**F1555**  
絕緣電阻計



**F810**  
振動測試計



# 變頻系統測儀器介紹

## Fluke 電力品質分析儀

- 測量諧波，以判斷諧波是否造成馬達或驅動器過熱或提早故障
- 測量電壓、電流不平衡+向量圖
- 決定馬達的起動電流，以解決斷路器跳脫問題

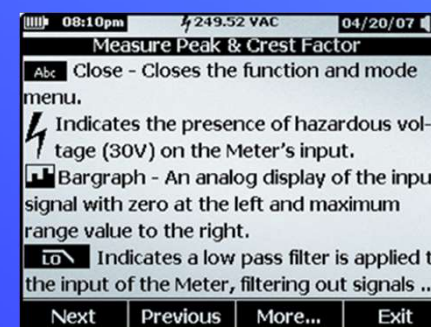
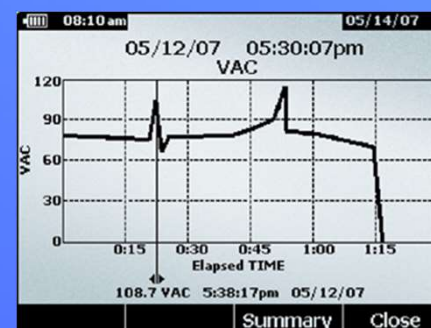




# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 289 紀錄功能數位電表

- 先進資料記錄與趨勢繪圖功能，協助您偵測間歇性故障問題
- 利用LoZ、低通濾波器&低電阻等功能，以快速準確的解決電力&電子問題
- 按下i按鈕，做即時協助指引操作步驟



# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 190 系列彩色示波器

- 觀看信號最細節，更準確地分析問題
- 深入對IGBT電晶體做的故障排除
- 檢查所有因為電纜長度所造成電壓暫態或反射
- 相位的測量
- 馬達相序測試
- 變頻器分析與故障排除
- 自動捕捉並重播**100**個畫面



# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 381/376 AC/DC 真有效值電流鉤錶

- 測量馬達起動時的起動電流
- 測試有無缺相運轉問題
- 測量電壓&電流不平衡
- 測量馬達輸入端供應電壓&電流





# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 9062 馬達相序計



在多相式電源供電處，  
(如工業性插座)  
判斷其極性及相序



在接線之前，檢查  
正確的相序。可以  
避免馬達損壞或確  
認接線方式，是否  
會造成馬達轉向不  
正確



只要輕鬆地將儀器放在馬達的  
機殼上，即可判斷運轉中馬達  
的轉向。適用於看不到軸承時  
應用(如冷凍空調泵浦)

# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 1587 絕緣高阻計

- 將高阻計與數位電表結合於一部單機
- 測試馬達繞線、供電電纜的絕緣
- 使用低電阻功能來測試不良的连接點
- 測量馬達電源輸入端電壓/電流,來判斷電壓/電流不平衡





# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 絕緣電阻計

- 馬達與電纜的絕緣測試最高達10kV
- 步階電壓測試揭露絕緣上的缺陷、物理性破壞或材質脆化程度
- 多段式電壓輸出，應用的靈活性
- 低電阻測試功能執行接點量測



# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke Ti400 熱影像儀

- 提供快速清晰圖像偵測問題所在
- 熱影像與可見光圖像融合在一起，讓紅外熱影像更容易被瞭解
- 完整套組，包含您所需的每一樣產品



# 變頻系統檢測儀器介紹

## Fluke 810 振動分析儀

- 告訴您
  - 哪裡有問題
  - 問題是什麼
  - 問題多嚴重
- 四個主要問題
  - 不平衡
  - 未對準
  - 鬆動
  - 軸承問題

