四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項☐第一款或☐第二款規定之事實，其事實發生日期為：　年　月　日。

☐ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號　順序註記】

☐ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號　順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料　【格式請依：寄存機構、日期、號碼　順序註記】

國外生物材料　【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼　順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種無刷直流電動機領域，特別係一種無刷直流電動機的寬速控制方法。

【先前技術】

電動機係用於驅動各種器械，但由於電動機會消耗較高電功率，且相關產業所使用的電動機數量甚大，因此如何提高電動機的驅動效率就成為工業界與學術界相當重視的課題。其中，無刷直流電動機因具有高功率密度、高效率與免維護的優點，再加上近來無刷直流電動機製造技術的改進與創新，使其能夠以體積小、重量輕及結構強健等優點逐漸取代部分傳統有刷直流電動機，且，無刷直流電動機一般是定位為反電勢呈類梯形波的永磁式電動機，以別於具有弦波形狀反電勢的永磁式同步電動機，而驅動無刷直流電動機的控制信號必須依據轉子磁石與定子相對位置的資訊才能成功地控制電動機之轉矩與或轉速。

一般轉速的無刷直流電動機驅動方法是採用 120 度導通區間波寬調變法，使反流器開關以固定切換順序，在同時間電動機繞組依此順序進行 2 相繞組激磁，以期望達到相電流與相反電勢同相位的最佳功率輸出，另，無刷直流電動機之高速時，係採用弱磁驅動方法，通常是 120 度導通區間的換向相位超前法，或是 180 度導通區間的換向相位超前法，其中 180 度導通區間的換向相位超前法在高速的性能雖然比前者優越，但在低速時的性能卻比前者差。

針對無刷直流電動機的弱磁驅動控制策略研究是以 T. M. Jahns 所做的

研究為基礎，Jahns 於"Torque Production in Permanent-Magnet Synchronous Motor Drives with Rectangular Current Excitation" 一文中，首先提出以 120 度導通區間的電流控制驅動策略，當驅動器飽和時，反流器的功率開關已經以每週期 120 度完全導通的方式換向，此時輸出電壓已達到極限，對應的電動機高反電勢限制線圈電流，而使電動機轉矩無法再增加。為進一步提高轉速，Jahns 提出可以利用改變反流器切換策略，使得無刷直流電動機相電流相位超前其對應反電勢，藉此可同時在高速運轉時維持相當的輸出轉矩，但是同時也因其反電勢為類梯形波，在線電流相位超前反電勢下使三相輸入功率產生脈動，進而產生機械脈動轉矩。

我國專利證號 483231 之「依轉速調整換相時機之無刷直流馬達控制方法」所採的相位超前弱磁驅動是沿用 120 度換向相位超前法驅動技術，其中同時最多只有 2 個反流器開關導通來對電動機的 2 相繞組激磁，這種切換方法可使轉速高於額定轉速；我國專利證號 I259648 之「電動車直流無刷馬達之控制方法及裝置」所採用的相位超前弱磁驅動亦是沿用 120 度驅動技術，其中同時最多也只有 2 個反流器開關導通來對電動機的 2 相繞組激磁；我國專利證號 I229972 之「低成本直流無刷馬達數位式驅動控制系統」與我國專利證號 I225904 之「實現複合式驅動控制架構於直驅式無刷馬達洗衣機」所採用的驅動方法是用 180 度驅動技術，惟，低速驅動方法是用非弱磁 180 度波寬調變驅動，高速驅動方法是用弱磁 180 度波寬調變驅動，兩種方法的功率開關切換有固定但各不相同的弱磁與非弱磁時序，使電動機電流與其反電勢的相位差分別在兩方法時保持固定，因而限制電

動機轉速範圍。

因此，在無刷直流電動機領域中，係有必要提供一種創新的無刷直流電動機的寬速控制方法，以克服上述之限制與缺失。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種無刷直流電動機的寬速控制方法，主要是依據無刷直流電動機實際轉速與轉子位置資訊，來控制反流器之數個切換開關的切換方式，當無刷直流電動機轉速係低於一額定轉速時，採用波寬調變切換法控制反流器的切換開關，當無刷直流電動機轉速係高於一額定轉速時，則是採用大於 120 度導通區間的相位超前換相切換法來控制反流器的切換開關，以讓無刷直流電動機不論是在高速轉速或低速轉速，都能夠受到良好的控制。

根據本發明所揭示的無刷直流電動機的寬速控制方法，乃包括提供一反流器，其用於輸出一無刷直流電動機之電壓大小與相位，以及根據一無刷直流電動機之一轉速ω_r與一轉子位置資訊，控制反流器切換開關之切換，當轉速ω_r低於一額定轉速，對反流器切換開關採用一波寬調變切換法，當轉速ω_r高於一額定轉速，對反流器切換開關採用一大於120度導通區間的相位超前換相切換法。

其中，波寬調變切換法係一 120 度導通區間的波寬調變切換法，相位超前換相切換法則是在一原 120 度導通區間前端增加所需超前的角度，而使反流器切換開關的導通區間大於 120 度且在 180 度以下，即可使無刷直流電動機順利進行高速弱磁運轉，且弱磁運轉乃採用和緩增加導通區間角度的相位超前方法，使電動機轉速在低速與高速間確實能和緩轉移。

本發明之目的或其他目的對於此技藝之通常知識者而言，閱讀以下實施例之詳細內容後係顯而易知的。

先前的概述與接下來的詳細敘述都是範例，以便能進一步解釋本發明之專利請求項。

【實施方式】

請參照第一圖，係本發明之一無刷直流電動機速度控制系統的示意圖。如圖所示，本發明之無刷直流電動機速度控制系統 10 乃包括一無刷直流電動機 12，一反流器 14 耦接無刷直流電動機且外接一直流鏈電壓源 15，以接收一直流電壓並將其轉成一交流電壓輸出至無刷直流電動機 12，其中反流器 14 係一三相全橋反流器，具有六個切換開關 S1 至 S6，如第二圖所示，每一切換開關包括一功率電晶體與一相耦接的背接二極體，故反流器 14 透過切換開關 S1 至 S6 控制輸出至無刷直流電動機之電壓大小與相位，一轉子位置偵測器 16 耦接無刷直流電動機 12，由三個霍爾偵測器所組成以偵測電動機 12 之轉子磁石與定子繞組的相對位置而輸出三個位置信號 u、v、w，一負載 17 耦接電動機 12 與轉子位置偵測器 16，一控制電路 18 耦接轉子位置偵測器 16，且控制電路 18 包括一轉子位置區域偵測器 181、轉速計算器 182、速度控制器及限制器 183 及一寬速控制單元 184，其中轉子位置區域偵測器 181 耦接轉子位置偵測器 16 以接收三個位置信號 u、v、w 而辨識並輸出一轉子區域值，轉速計算器 182 耦接轉子位置偵測器 16 以接收三個位置信號 u、v、w 計算出直流電動機 12 之轉速 ω_r，速度控制器及限制器 183 則接收一轉速命令 ω_r^* 與一轉速 ω_r 之誤差而輸出一控制命令 u^*，寬速控制單元 184 耦接轉子位置區域偵測器 181、轉速計算器 182、速度控

制器及限制器 183 與反流器 14，以接收轉子區域值、轉速ω_r與控制命令 u^* 之三個輸入參數而得到控制反流器 14 的六個開關切換控制信號。

其中，請同時參照第三圖，係無刷直流電動機 12 之相反電勢電壓e_{An}與對應轉子位置偵測器 16 所輸出的 3 組轉子磁石與定子繞組之相對位置信號 u, v, w 波形示意圖。其中，請同時參照第三圖，係無刷直流電動機 12 之相反電勢電壓e_{An}與對應轉子位置偵測器 16 所輸出的 3 組轉子磁石與定子繞組之相對位置信號 u, v, w 波形示意圖。

透過上述之無刷直流電動機速度控制系統 10，本發明揭示一種無刷直流電動機的寬速控制方法，由於反流器 14 之切換開關的切換模式控制著無刷直流電動機之端電壓大小與相位，所以本發明主要是當轉速ω_r低於一額定轉速ω_{rTH}時，就採用 120 度波寬調變切換法控制反流器 14 的切換開關，即控制電路 18 會根據轉速ω_r、轉速命令ω_r^*與轉子區域值而運算產生出六個切換開關波寬調變控制信號來控制反流器 14 之切換開關，波寬調變控制信號的順序圖形可以如第四圖所示，其中一個電機週期分割為 I 、II 、III 、IV 、V 、VI之六個區域。當轉速逐漸增加，為維持所需轉速，切換開關的導通週期會逐漸增加達 100%，此時所加電壓也達到最大，即反流器輸出電壓已經飽和，一般而言，此時已達到無刷直流電動機最高轉速，若希望繼續提高無刷直流電動機轉速，則採用弱磁控制方法，且當無刷直流電動機轉速ω_r高於額定轉速ω_{rTH}時，本發明採用大於 120 度導通區間的相位超前換相切換法來控制反流器的切換開關，其中此相位超前換相切換法係在一原 120 度週期導通區間前端增加所需超前的角度。如第五圖所示，係習知 120

度相位超前換相法，當期望電流超前 30 度時，反流器切換開關的導通區間依舊是 120 度。而本發明是當期望電流超前 30 度時，就在原 120 度週期導通區間前端增加 30 度，如第六圖所示，此時反流器 14 之每一切換開關的週期導通區間就是 150 度，應用此方法，當轉速愈高時，電壓相位超前角度 PAA 會愈大，而最大超前相位角是 60 度，以使反流器切換開關的導通區間係大於 120 度且在 180 度以下。

且，當轉速ω_r高於額定轉速ω_{rTH}後，採用前述之本發明的相位超前換相法，電壓相位超前角度大小 PAA 與所欲轉速成正比，且切換開關之導通區間的角度大小亦與所欲轉速成正比，故透過本方法能使反流器切換開關的導通區間以及相位超前角度隨轉速增減而增減，而更能達到直流無刷電動機高速運轉目的。

其中，能夠控制反流器 14 之開關的切換模式就是透過控制電路 18 之寬速控制單元 184 所輸出的切換開關控制信號，請連同參照第七圖所示，係寬速控制單元 184 之邏輯作動流程示意圖。如圖所示，寬速控制單元 184 先進行步驟 S1，判斷轉速ω_r是否高於一額定轉速ω_{rTH}，若是，則進行步驟 S2，設定變數 FW＝1，若否，則進行步驟 S3，設定變數 FW=0，之後，不論是步驟 S2 與 S3，接著都是進行步驟 S4，判斷控制命令 u^*是否大於或等於一臨界控制命令u_{TH}，若是，則接著進行步驟 S5，若否，則進行步驟 S6。

當控制命令 u^*大於或等於一臨界控制命令u_{TH}，係進行步驟 S5，判斷變數 FW 是否等於 1，即相當於判斷轉速ω_r是否大於額定轉速ω_{rTH}，當 FW 是等於 1，即轉速ω_r高於額定轉速ω_{rTH}，則進行步驟 S7，依據控制命令 u^*

及採用弱磁控制切換，計算反流器相位超前角度PAA，其中相位超前角度PAA之計算公式如下：

$$PAA = (\frac{u^* - u_{TH}}{u_{TH}}) \times 60$$

然後進行步驟S8，判斷相位超前角度PAA是否大於或等於60度，若相位超前角度PAA係大於或等於60度，則進行步驟S9，使相位超前角度PAA等於60度後，才進行步驟S10，若相位超前角度PAA係小於60度，則直接進行步驟S10，以使用相位超前角度PAA與轉子區域值共同決定反流器14之切換開關控制信號，其中這些信號在一個週期的順序圖形是如第六圖所示；當FW是不等於1，即轉速ω_r低於額定轉速ω_{rTH}，則進行步驟S11，使反流器切換開關的工作週期D等於100%後，才進行步驟S14，表示無刷直流電動機在額定轉速以下，採用波寬調變控制，以使用此工作週期D與轉子區域值共同決定用於控制反流器14的切換開關控制信號，其中這些信號之一個週期的順序圖形係類似於第四圖。

當控制命令u^*小於臨界控制命令u_{TH}，係進行步驟S6，依據控制命令及採用波寬調變切換，計算反流器開關工作周期D，其中工作週期D之計算公式如下：

$$D = \frac{u^*}{u_{TH}}$$

然後進行步驟S12，判斷工作週期D是否大於或等於100%，若工作週期D是大於或等於100%，則進行步驟S13，使工作週期D等於100%後，才進行步驟S14，若工作週期是小於100%，則直接進行步驟S14，使電動機在

額定轉速以下係採用波寬調變控制，使用工作週期D與轉子區域值來共同決定用於反流器的切換開關控制信號，其中這些信號之一個週期的順序圖形係類似於第四圖。

以上的實施流程至此為止是一個週期結束，等待下一個週期的開始時再重新進入第七圖之步驟S1，藉此流程週期之循環而達到無刷直流電動機寬速控制。

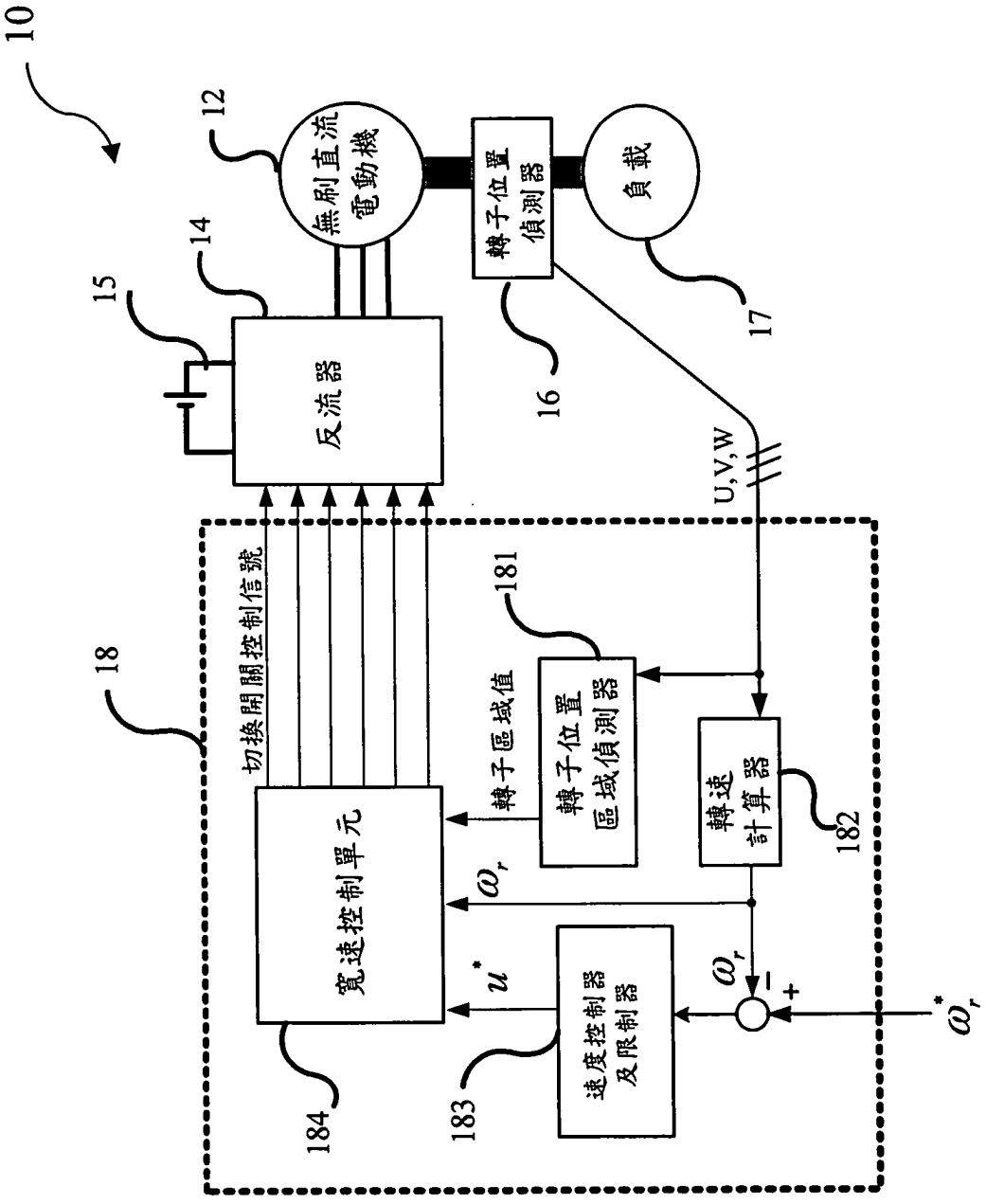
此外，控制電路18是透過數位化方式來實現，可採任何市售的單晶片微處理器、數位信號處理器、可規劃邏輯鎮列、各種形式電腦或其他相似功能的數位化處理器等。

現在，茲以一實際實施例及代表性實驗結果驗證本發明之優點，係依照第一圖建立一無刷直流電動機速度驅動器。當無刷直流電動機12之額定電壓是24V，額定功率是360W，額定轉速2550r/min，直流鏈電壓源15是24V，所以電流限制是15A，控制電路18採用數位信號處理器模組TI TMS320LF2407A EVM，且臨界轉速ω_{rTH}=3000r/min，臨界控制命令u_{TH}=1000，參照第八圖之實驗結果，顯示在電動機滿載時，依據本發明之寬速控制方法的暫態響應波形，在第八圖中顯示電動機轉速能夠由低速非弱磁控制和緩轉移至高速弱磁控制，最後達到3230r/min的轉速命令，且當時間在1.36sec時，驅動器進入弱磁控制，當轉速逐漸提高的同時，直流鏈電流I_{DC}跟隨逐漸增加到驅動器額定電流約為15A。第九圖係顯示採用傳統弱磁方法的穩態實驗波形，穩態時，電動機轉速約為3229r/min，I_{DC}平均值為16.0A，I_{DC}峰對峰值為11.4A。第十圖係顯示依據本發明之寬速控制方法的穩態實驗

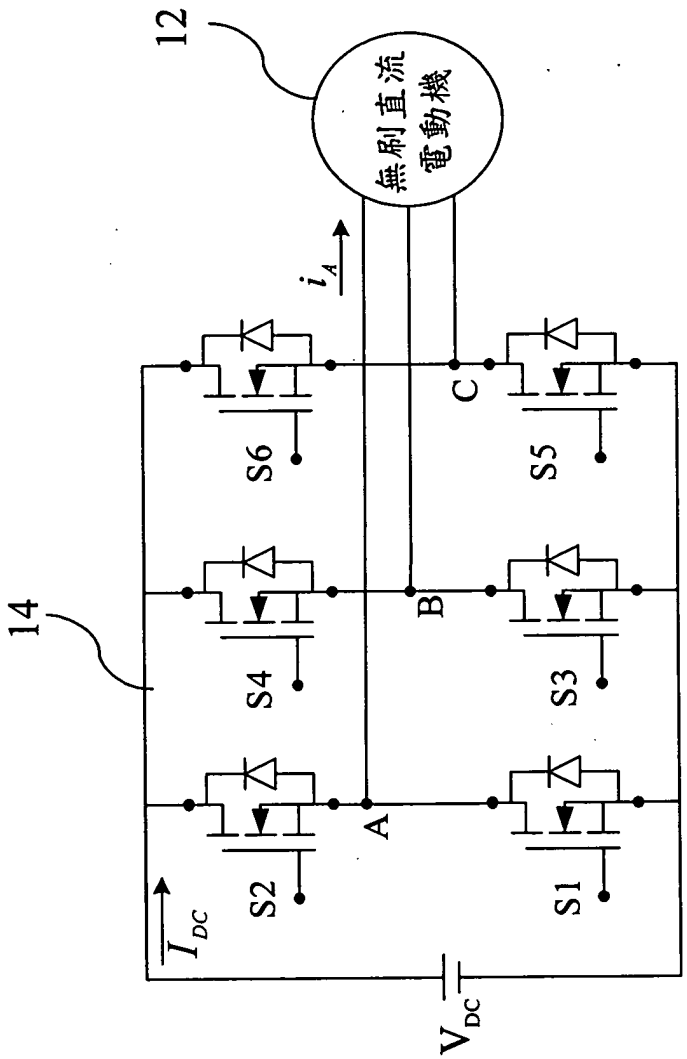
五、中文發明摘要：

本發明係一種無刷直流電動機的寬速控制方法，提供一反流器，其用於輸出一無刷直流電動機之電壓大小與相位，及根據一無刷直流電動機之一轉速ω_r與一轉子位置資訊，控制反流器切換開關的切換，當轉速ω_r低於額定轉速時，採波寬調變切換法，當高於額定轉速時，則採用大於 120 度導通區間的相位超前換相切換法，藉此以使無刷直流電動機不論是在高速轉速或低速轉速，都能夠受到良好的控制。

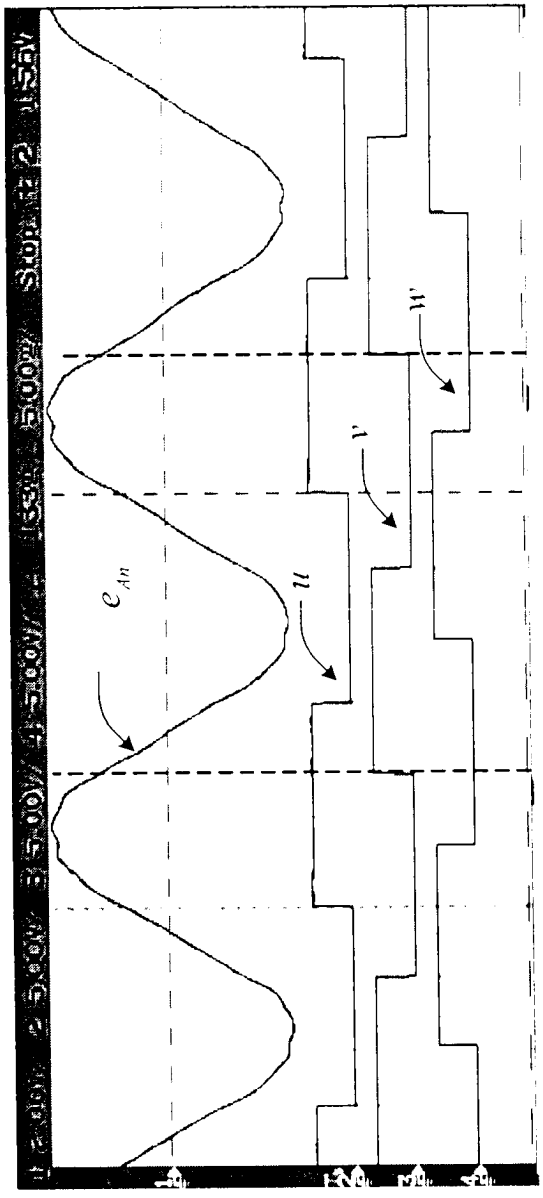
六、英文發明摘要：


10
12
無刷直流電動機
轉子位置偵測器
負載
14
15
反流器
16
17
U,V,W
18
切換開關控制信號
181
轉子區域值
轉子位置區域偵測器
轉速計算器
182
ω_r
寬速控制單元
u^*
速度控制器及限制器
ω_r
ω_r^*
183
184

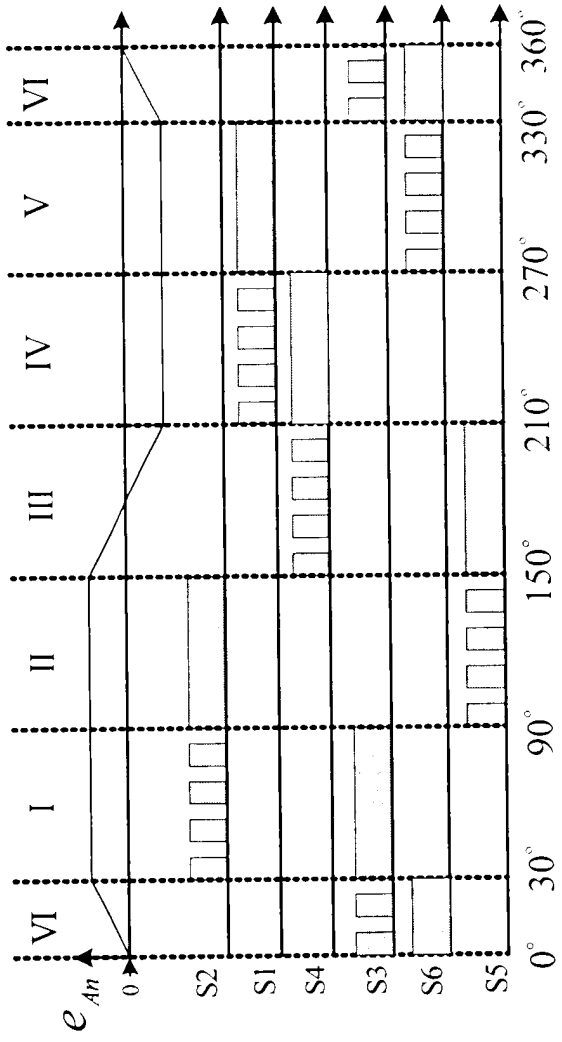
第一圖



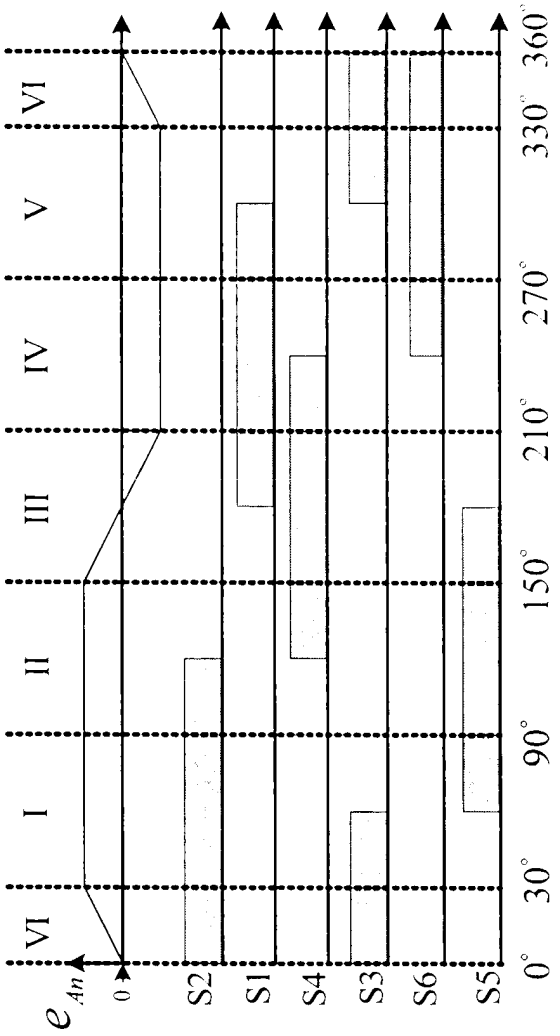
第二圖



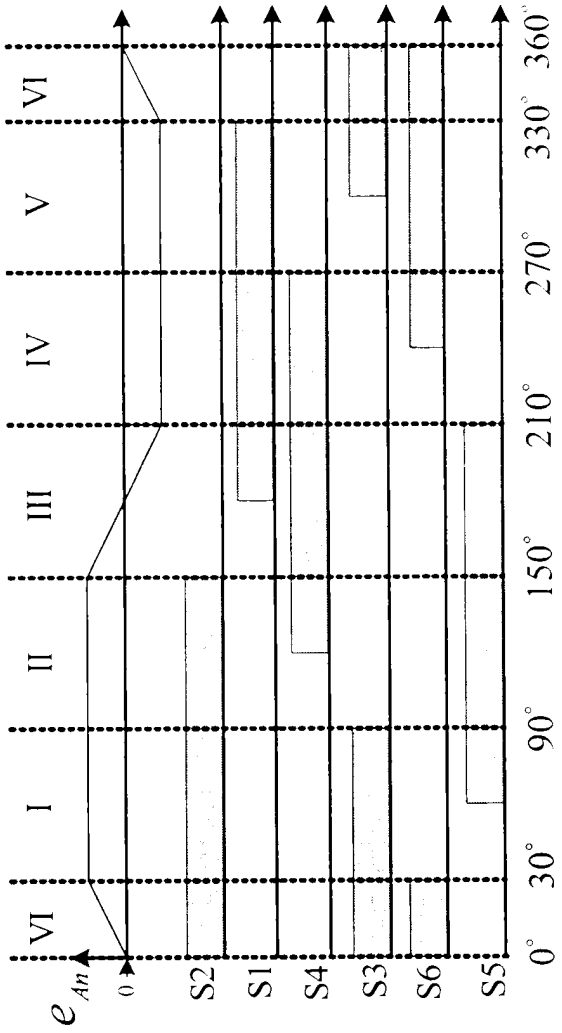
第三圖



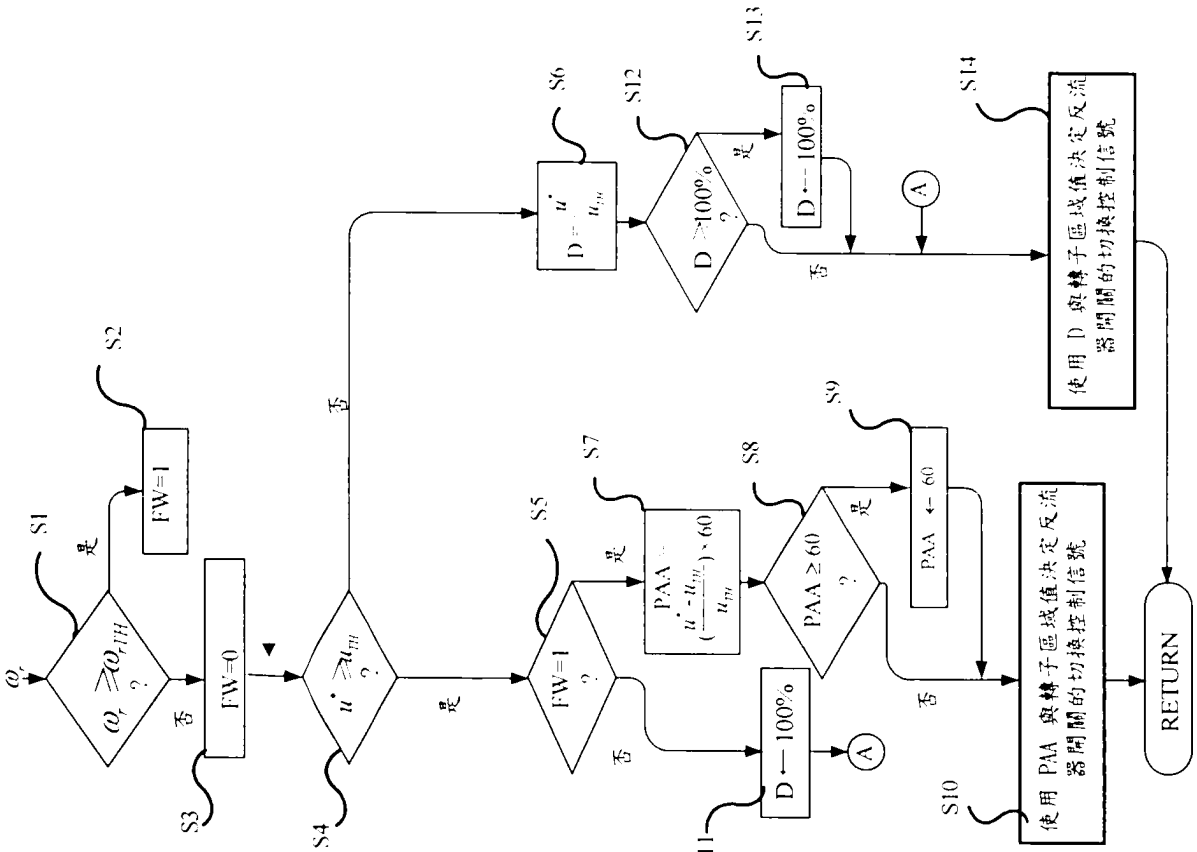
第四圖



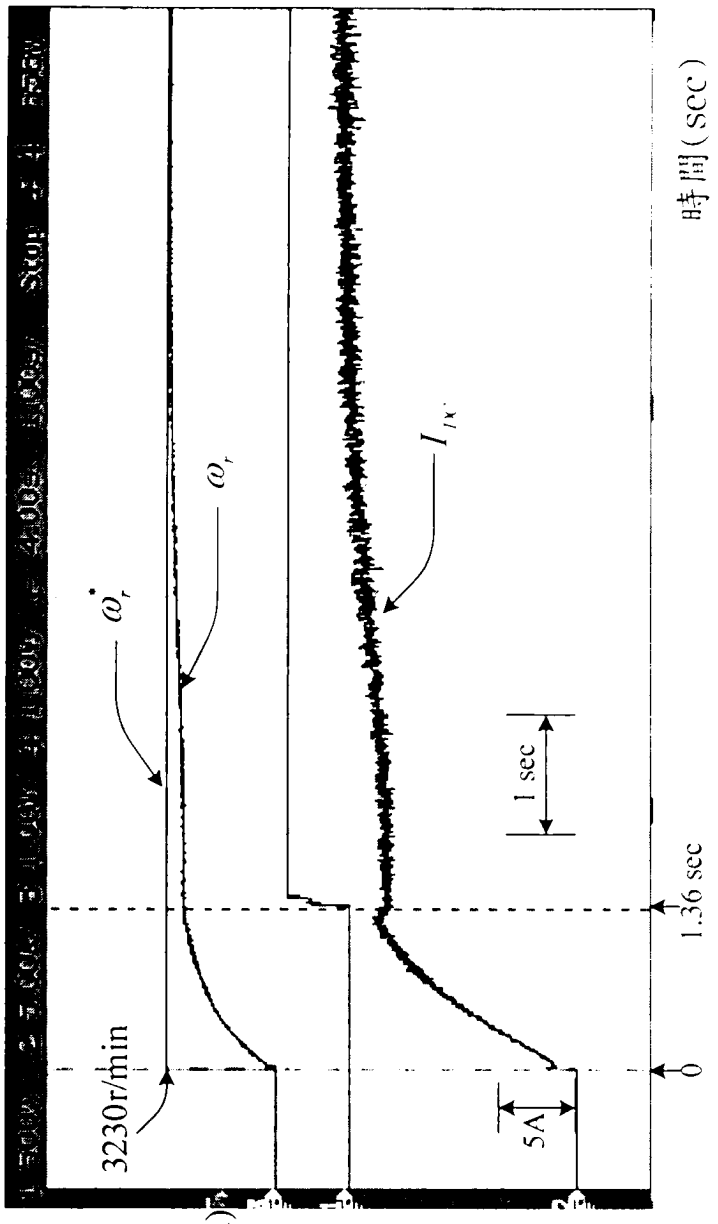
第五圖



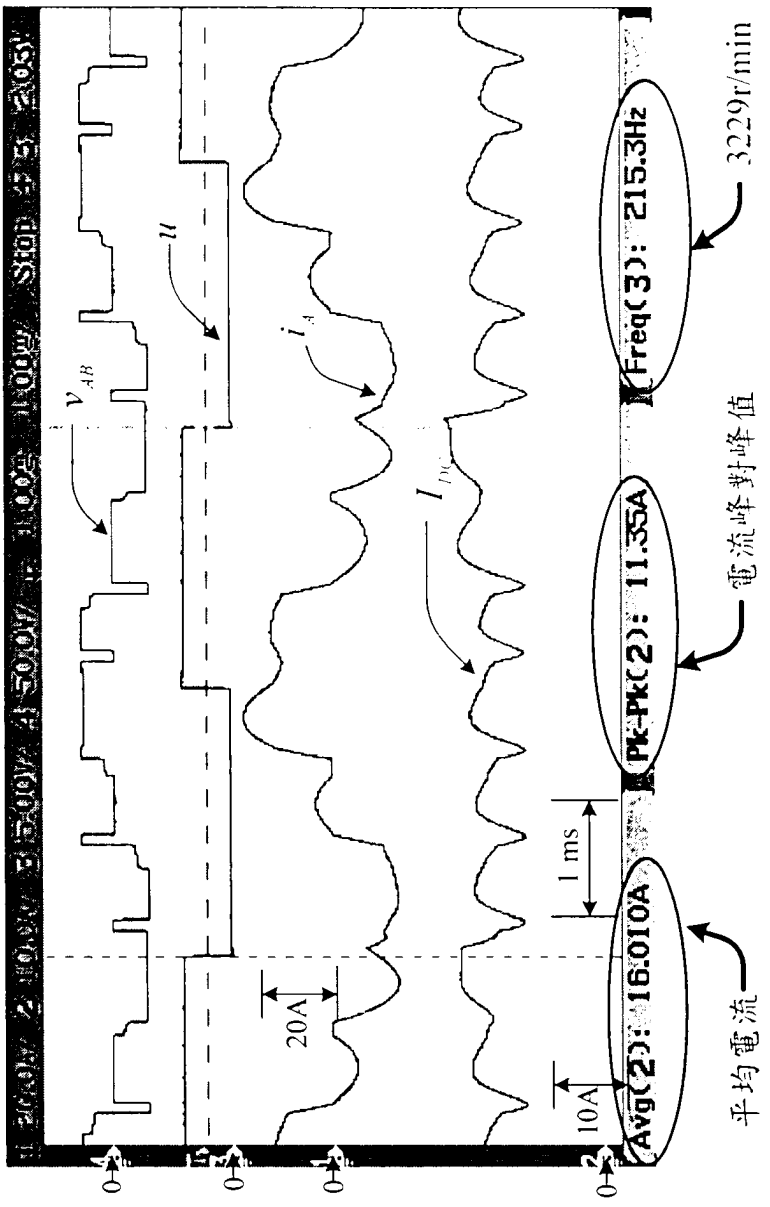
第六圖


S1
S2
FW=1
是
否
S3
FW=0
S4
是
否
S5
FW=1
?
是
否
S6
S7
S8
S9
S10
S11
S12
S13
S14
100%
?
是
否
A
RETURN

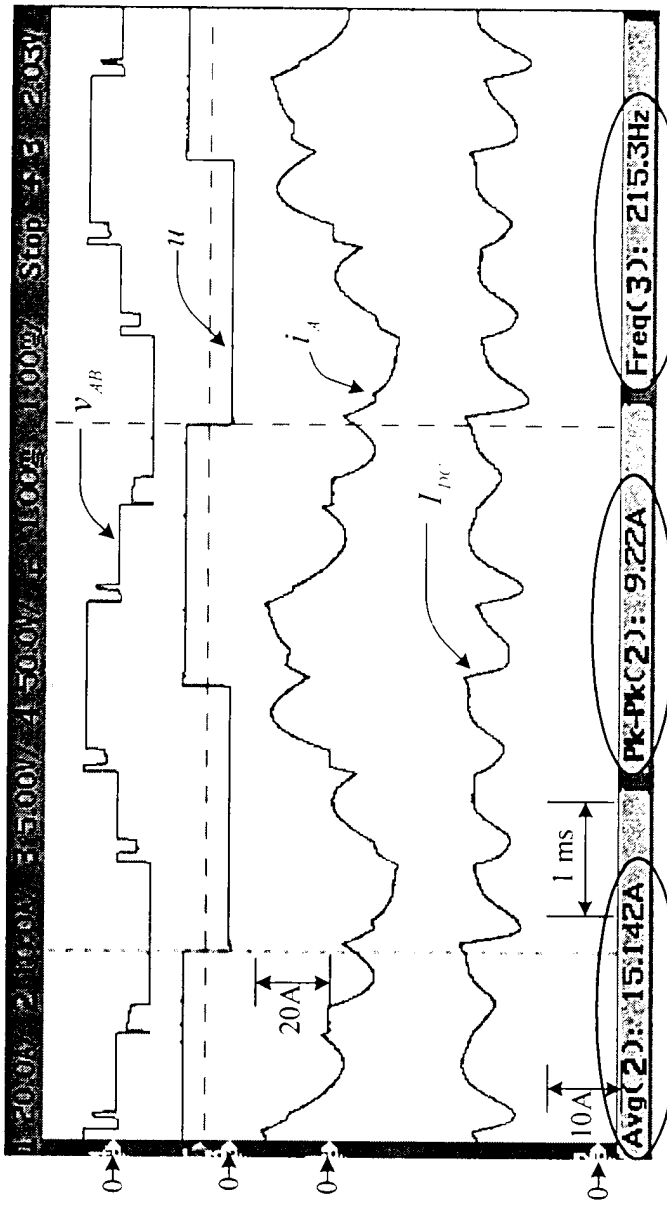
第七圖


轉速 (r/min)
電流 (A)
3230r/min
ω_r^*
ω_r
I_{1x}
5A
1 sec
0
1.36 sec
時間 (sec)

第八圖


20A
10A
1 ms
Avg(2): 16.010A
Pk-Pk(2): 11.35A
Freq(3): 215.3Hz
平均電流
電流峰對峰值
3229r/min

第九圖


Stop
v_{AB}
i_A
i_{DC}
20A
10A
1 ms
Avg(2): 15.142A
Pk-Pk(2): 9.22A
Freq(3): 215.3Hz
平均電流
電流峰對峰值
3229r/min

第十圖

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（七）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明:

無

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

I356578

公告本

100年9月9日修正替換頁

發明專利說明書

（本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫）

※ 申請案號：96150032

※ 申請日期：96.12.25　　※IPC 分類：H02P 6/16 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

無刷直流電動機的寬速控制方法

二、申請人：（共1人）

姓名或名稱：（中文/英文）

明新科技大學

代表人：（中文/英文）馮丹白

住居所或營業所地址：（中文/英文）

新竹縣新豐鄉新興路1號

國　籍：（中文/英文）中華民國 TW

三、發明人：（共1人）

姓　名：（中文/英文）

蘇信銘

國　籍：（中文/英文）

中華民國 TW

波形，此時電動機的轉速約為3229r/min，I_{DC}平均值為15.1A，I_{DC}峰對峰值為9.2A。因為直流鏈電壓源15相對的維持固定值，所以可以推測當I_{DC}峰對峰值愈大，電動機脈動轉矩愈大。

由上述2個實驗結果可知，透過本發明所揭示的寬速控制方法，在高速重載時，會同時有較小的I_{DC}平均值與I_{DC}峰對峰值，且明顯低於傳統120度驅動技術所得到的轉矩漣波峰對峰值，故驗證本方法不但能提高驅動器效率最大達到約6.67%，即節省約24W，降低了無刷直流電動機的脈動轉矩。

綜上所述，本發明之無刷直流電動機的寬速控制方法只採用單一速度控制器，就可將電動機的低速與高速弱磁控制結合一起，使電動機轉速在低速與高速間確實能和緩轉移，讓電動機在寬廣速度範圍都能獲得良好控制，且只需修改習用驅動系統的軟體程式，而不需增加額外硬體，進而降低硬體成本。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第一圖為本發明之無刷直流電動機速度控制系統的示意圖。

第二圖為本發明之反流器的電路結構示意圖。

第三圖為本發明之無刷直流電動機A相反電勢電壓e_{An}與對應3組轉子位置偵測器所輸出的位置信號u, v, w的波形示意圖。

第四圖為本發明之反流器切換開關控制信號順序圖形。

99年12月13日修正替換

第五圖為習知120度相位超前換相法之反流器切換開關控制信號順序圖形。

第六圖為本發明之大於 120 度的相位超前換相法之反流器切換開關控制信號順序圖形。

第七圖為本發明無刷直流電動機的的寬速控制方法之流程示意圖。

第八圖為應用本發明之無刷直流電動機之滿載暫態響應波形示意圖。

第九圖為採用習知弱磁方法的穩態實驗波形示意圖。

第十圖為應用本發明的穩態實驗波形示意圖。

【主要元件符號說明】

10 無刷直流電動機速度控制系統　12 無刷直流電動機

14 反流器　　15 直流鏈電壓源

16 轉子位置偵測器　　17 負載

18 控制電路

181 轉子位置區域偵測器　182 轉速計算器

183 速度控制器及限制器

184 寬速控制單元

十、申請專利範圍：

1. 一種無刷直流電動機的寬速控制方法，包括下列步驟：

提供一反流器，其用於輸出一無刷直流電動機之電壓大小與相位；

根據一無刷直流電動機之一轉速ω_r與一轉子位置資訊，控制該反流器切換開關的切換，當該轉速ω_r低於一額定轉速，對該反流器切換開關採用一波寬調變切換法，當該轉速ω_r高於一額定轉速，對該反流器切換開關採用一大於 120 度導通區間的相位超前換相切換法；及

提供一控制命令，其係作為該反流器切換開關之控制信號的控制變數，並判斷該控制命令是否大於或等於一臨界控制命令，當該控制命令大於或等於該臨界控制命令，判斷該轉速ω_r是否大於該額定轉速，當該轉速ω_r低於該額定轉速，使該反流器切換開關的工作週期 D 等於 100%，然後使用該工作週期 D 來決定該反流器之切換開關的控制信號，當該轉速ω_r高於該額定轉速，判斷該反流器切換開關所輸出的電壓相位超前角度 PAA 是否大於或等於 60 度，若該相位超前角度 PAA 係小於 60 度，則使用該相位超前角度 PAA 來決定該反流器之切換開關控制信號，若該相位超前角度 PAA 係大於或等於 60 度，則使該相位超前角度 PAA 等於 60 度後，才使用該相位超前角度 PAA 來決定該反流器之切換開關的控制信號。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該轉子位置資訊係由一轉子位置區域偵測器所提供。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該波寬調變切換法係一 120 度波寬調變切換法。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該

相位超前換相切換法係在一原 120 度導通區間前端增加所需超前的角度。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該相位超前換相切換法係使該反流器切換開關的導通區間係大於 120 度而在 180 度以下。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該相位超前換相切換法係使該反流器切換開關的導通區間之角度大小與該轉速 ω_r 成正比。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該相位超前換相切換法係使該反流器所輸出電壓相位超前角度大小 PAA 與該轉速 ω_r 成正比。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該相位超前角度 PAA 最大是 60 度。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，其中該控制命令大於該臨界控制命令，判斷該反流器切換開關的工作週期 D 是否大於或等於 100%。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之無刷直流電動機的寬速控制方法，若該工作週期 D 係小於 100%，則使用該工作週期 D 來決定該反流器切換開關的控制信號，若該工作週期 D 係大於或等於 100%，則使該工作週期 D 等於 100%後，才使用該工作週期 D 來決定該反流器之切換開關控制信號。