

發明專利說明書

※申請案號：096112996

※IPC 分類：

一、發明名稱：

多執行緒程式之電源閘控方法以及電源閘控系統
MULTI-THREAD POWER-GATING DESIGN

二、中文發明摘要：

本發明乃有關於多執行緒程式之電源閘控方法以及實行該方法之系統，將令不需要使用的元件進入休眠狀態，以降低元件漏電流所造成的能量耗損。本發明以編譯器技術於一多執行緒程式的一可能並行發生區域之各執行緒中佈置條件式電源啟動、關閉指令。上述條件式電源啟動指令將先判斷所對應之元件是否早已被啟動，並且僅在該元件尚未被啟動時啟動該元件。上述條件式電源關閉指令將先判斷所對應之元件於該可能並行發生區域中是否仍需使用，並且在判定不需使用時關閉該元件。本發明將避免元件被不必要地重複啟動；亦可避免元件被錯誤地提早關閉。

三、英文發明摘要：

The invention relates to multi-thread power gating design, setting idle components into a sleep mode to reduce leakage power consumption. Based on compiler techniques, the invention arranges conditional power gating instructions into every thread of a may-happen-in-parallel region of a multi-thread program. A conditional power on instruction determines whether the corresponding component has been turned on already, and turns on the component when it is off. A conditional power off instruction determines whether the corresponding component will be idling in the rest of the may-happen-in-parallel region, and turns off the component when it will be idling.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第5圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

502 . . . 元件

504 . . . 電源閘控控制器

506 . . . 電源閘控暫存器

508 . . . 開關

510 . . . 條件暫存器

512 . . . 元件之電源開關

GND . . . 接地端

V_{dd} . . . 電源

V-V_{dd} . . . 虛擬電源(virtual V_{dd})

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

[0001] 本發明係有關於一種電源閘控技術，特別有關於應用於多執行緒(multi-thread)程式的電源閘控(power gating)方法與實現該方法之系統。

【先前技術】

[0002] 電子元件中主要的能量消耗包括：靜態功率消耗(station power dissipation)、以及動態功率消耗(dynamic power dissipation)。靜態功率消耗起因於互補式金氧半(CMOS)元件的漏電流(leakage current)。動態功率消耗乃由切換暫態電流(switching transient current)以及負載電容之充放電所產生。隨著製程技術的成長，電晶體尺寸愈來愈小，功能元件(function unit)數目愈來愈多，靜態功率消耗也因而愈來愈嚴重。如何降低靜態功率消耗已成為當前重要的議題。

[0003] 目前常用的技術為電源閘控(power-gating)設計—利用電源閘控指令控制閒置的元件之用電，以降低漏電流所引起的上述靜態功率消耗。與本發明相關的先前技術包括：中華民國專利公開號第172459號「結合低耗能指令集在編譯器之元件流程分析結構與方法」、以及中華民國專利申請案號第94147221號「低漏電耗能之電源閘控指令的佈置方法與系統」。公開案第172459號所揭露的內容為：利用資料流分析方法分析各元件在控制流程圖中的使用狀態，並且在各元件之間置區間的前、後分別佈置電源關閉、啟動指令，以降低元件漏電流。然而，在元件數目過多的狀況下，公開案第172459號針對每一個元件作電源閘控控制將耗費相當多能量。因此，專利申請號第94147221號揭露一種改善方法：利用資料流分析方法，分析複數個元件之電源閘控指令是否可合併，並且將可合併之電源閘控指令合併佈置於程式之適當位置，統一對該等元件進行電源閘控，以能量消耗。

[0004] 然而，上述技術內容乃針對單一執行緒程式所設計，並無法應用在多執行緒程式上。

[0005] 以G. Naumovich與G. S. Avrunin於Proceedings of the 6th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering所提出的” A conservative data flow algorithm for detecting all pairs of statements that may happen in parallel for rendezvous-based concurrent programs” 為例，一多執行緒程式的一可能平行發生區域(may-happen-in-parallel)內包括複數個執行緒。該等執行緒並沒有固定的執行順序。因此，無法預先確認各元件的閒置區間所在，故公開案第172459號所提出的技術無法應用在多執行緒程式中。

[0006] 我們需要一種針對多執行緒程式所發展的電源閘控技術。

【發明內容】

[0007] 本發明針對多執行緒程式提出電源閘控方法以及相關的電源閘控系統。

[0008] 在一種實施方式中，本發明所提出的電源閘控方法將根據一元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，於各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條條件式電源啟動指令與一條條件式電源關閉指令。該條件式電源啟動指令將判斷該元件是否已啟動。該條件式電源啟動指令僅在該元件尚未啟動時啟動該元件。該條件式電源關閉指令將判斷該元件是否仍需被使用。若該元件已不需被使用，則該條件式電源關閉指令將令該元件進入休眠狀態。

[0009] 在另一種實施方式中，本發明所提出的電源閘控方法將根據複數個元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，於各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條條件式電源啟動指令以及一條條件式電源關閉指令。本發明更將判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併；若可合併，則令該等元件於同一執行緒中共用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令。該共用型條件式電源啟動指令將判斷該等元件是否已啟動。若該等元件尚未啟動，則該共用型條件式電源啟動指令將一同啟動所有上述元件。該共用型條件式電源關閉指令將判斷該等元件是否仍需被使用。若該等元件已不需被使用，則該共用型條件式電源關閉指令將令所有上述元件一同進入休眠狀態。

[0010] 本發明更提出一種電源閘控系統。在一實施方式中，該電源閘控系統包括：一元件、一編譯器、一電源閘控控制器、一電源閘控暫存器、一開關、以及一條件暫存器。該電源閘控暫存器乃由該電源閘控控制器控制，其值將決定該元件的一電源開關啟動與否。該開關耦接於該電源閘控控制器與該電源閘控暫存器之間，由該條件暫存器控制。該條件暫存器之初始值為一可電源閘控狀態；此時，該開關為導通。

[0011] 在此實施方式中，該編譯器將根據一元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，在各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條件式電源啟動指令與一條件式電源關閉指令。在執行上述條件式電源啟動指令時，該電源閘控控制器將判斷該條件暫存器是否為該可電源閘控狀態。若該條件暫存器為該可電源閘控狀態，該電源閘控控制器將藉由導通的上述開關令該電源閘控暫存器為一啟動電源開關狀態，並且令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態。在執行上述條件式電源關閉指令時，該電源閘控控制器將判斷該元件是否仍需被使用。若該元件已不需被使用，則該電源閘控控制器將令該條件暫存器為該可電源閘控狀態，並且藉由導通的上述開關令該電源閘控暫存器為一關閉電源開關狀態。

[0012] 在另一實施方式中，該電源閘控系統包括：複數個元件、一編譯器、一電源閘控控制器、一電源閘控暫存器、一開關、以及一條件暫存器。該電源閘控暫存器乃由該電源閘控控制器控制，其值決定上述所有元件之電源開關啟動與否。該開關耦接於該電源閘控控制器與該電源閘控暫存器之間，由該條件暫存器控制。該條件暫存器之初始值為一可電源閘控狀態；此時，該開關為導通。

[0013] 在此實施方式中，該編譯器將根據該等元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒的使用狀態，於各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條件式電源啟動指令以及一條件式電源關閉指令。該編譯器更將判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併。若可合併，則令該等元件於同一執行緒中共用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令。在執行上述共用型條件式電源啟動指令時，該電源閘控控制器將判斷該條件暫存器是否為該可電源閘控狀態。若該條件暫存器為該可電源閘控狀態，則該電源閘控控制器將藉由導通的上述開關令該電源閘控暫存器為一啟動電源開關狀態，以同時啟動所有上述元件。然後，該電源閘控控制器將令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態，以標示該等元件已啟動。在執行上述共用型條件式電源關閉指令時，該電源閘控控制器將判斷該等元件是否仍需被使用。若該等元件已不需被使用，則該電源閘控控制器將令該條件暫存器為該可電源閘控狀態，並且藉由導通的上述開關令該電源閘控暫存器為一關閉電源開關狀態，以令該等元件同時進入休眠狀態。

[0014] 為讓本發明之上述和其他目的、特徵、和優點能更明顯易懂，下文特舉出數個實施例，並配合所附圖式作詳細說明。

【實施方式】

[0015] 本發明應用於多執行緒程式，藉由編譯器技術分析欲執行的程式，將條件式電源啟動、關閉指令佈置於一可能並行發生區域的各執行緒中。在執行該可能並行發生區域時，處理器將根據上述條件式電源啟動、關閉指令控制上述元件的電源，令閒置的元件進入休眠狀態。上述條件式電源啟動、關閉指令各將執行一判斷動作，避免上述元件於該可能並行發生區域的執行過程中不必要地被重複啟動、或錯誤地提早關閉。本發明將令多執行緒程式之元件漏電問題將大為改善，並令靜態功率消耗大幅降低。

[0016] 第1圖為一多執行緒程式的一可能並行發生區域100之控制流程圖(control flow graph)。此說明例僅對一個可電源閘控的元件進行分析，以方便讀者了解本發明。該可電源閘控的元件可為一電腦系統中的運算元件(例如：整數乘法器、浮點數加法器、浮點數乘法器、或浮點數除法器…等)、或處理器週邊元件(例如：圖形處理加速器、安全處理加速器等)…等。在此說明例中，該可能並行發生區域100包括兩個執行緒：一第一執行緒、以及一第二執行緒。該第一執行緒於時序編號 B_{n+2} 後包括兩個分支。該第二執行緒於時序編號 B_{j+3} 與 B_{j+6} 之間包括一個迴圈，該迴圈將重複至少三次。標籤W代表該處需要使用該元件。如第1圖所示，該第一執行緒於時序編號 B_{m+3} 、 B_{m+5} 、與 B_n

+2 ~B_{n+4} 處使用該元件；該第二執行緒於時序編號B_{i+4}、B_{j+2}、與B_{j+3} 處使用該元件。

- [0017] 在實際執行該可能並行發生區域100時，處理器可能先處理部份第一執行緒、再跳去執行該第二執行緒、然後才跳回來執行完該第一執行緒；亦有可能以其他順序執行該第一與該第二執行緒。由於處理器實際執行一可能並行發生區域之執行緒的順序為不固定，故無法使用中華民國專利公開號第172459號所揭露的電源開控技術。
- [0018] 本發明提出一種多執行緒程式的電源開控方法，在各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條條件式電源啟動指令與一條條件式電源關閉指令。第1圖之說明例佈置上述條件式電源啟動、關閉指令後的控制流程圖如第2圖所示。在該第一執行緒中，該元件首次使用於時序編號B_{m+3}，故一條條件式電源啟動指令C-on1將佈置於B_{m+3}之前。此外，視程式流向不同，該元件末次使用處可能為時序編號B_{n+3}、或B_{n+4}，故B_{n+3}、或B_{n+4}之後將分別佈置條件式電源關閉指令C-off1與C-off2。在該第二執行緒中，該元件首次使用於時序編號B_{i+4}，故一條條件式電源啟動指令C-on2將佈置於B_{i+4}之前。此外，該元件末次使用於時序編號B_{j+3}，故一條條件式電源關閉指令C-off3將佈置於B_{j+3}之後。
- [0019] 上述條件式電源啟動C-on1與C-on2將判斷該元件是否已啟動。若該元件尚未啟動，則上述條件式電源啟動指令C-on1與C-on2將啟動該元件。上述條件式電源關閉指令C-off1、C-off2、與C-off3將判斷該元件是否仍需被使用。若該元件已不需被使用，則上述條件式電源關閉指令C-off1、C-off2、與C-off3將令該元件進入休眠狀態。上述條件式電源啟動指令C-on1與C-on2將避免該元件被不必要地重複啟動。上述條件式電源關閉指令C-off1、C-off2、與C-off3將避免該元件被錯誤地提早關閉—避免需要使用該元件時該元件卻為休眠狀態的情形發生。
- [0020] 在另一實施方式中，本發明更提供一條條件暫存器以及一引用計數器。該條件暫存器之初始值為一可電源開控狀態。該引用計數器之初始值為零。上述條件式電源啟動指令將判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態。若該條件暫存器為該可電源開控狀態，處理器將啟動該元件，並且令該條件暫存器切換至不為該可電源開控狀態。其中，不論該條件暫存器狀態為何，該引用計數器都將加1。上述條件式電源關閉指令首先將令該引用計數器減1，然後判斷該引用計數器是否為零。若該引用計數器為零，處理器將令該條件暫存器為該可電源開控狀態，並且在判斷出該條件暫存器為該可電源開控狀態後令該元件進入休眠狀態。
- [0021] 以第2圖為例，假設該可能並行發生區域100的執行順序為：先執行部份上述第一執行緒(B_{m+1} ~B_{m+3})、再跳去執行整個上述第二執行緒(B_{i+1} ~B_{j+6})、最後再跳回將剩餘的第一執行緒執行(B_{m+4} ~B_{n+7})完畢。首先執行到的條件式電源開控指令為條件式電源啟動指令C-on1。此時，該條件暫存器為初始值—可電源開控狀態—代表該元件尚未被啟動。該條件式電源啟動指令C-on1將啟動該元件，並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態，以標示該元件為已啟動。然後，該條件式電源開控指令C-on1將令該引用計數器加1(0+1=1)，以標示目前已處理過的執行緒中，有一各執行緒仍需要使用到該元件。下一個執行到的條件式電源開控指令為條件式電源啟動指令C-on2。由於該條件暫存器不為該可電源開控狀態，代表該元件早已被啟動，故該條件式電源啟動指令C-on2不會對該元件進行啟動動作，僅將該引用計數器加1(1+1=2)，代表目前執行過的兩個執行緒都仍需要使用該元件。下一個執行到的條件式電源開控指令為條件式電源關閉指令C-off3。該條件式電源關閉指令C-off3將令該引用計數器減1(2-1=1)。由於該引用計數器的值為'1'，代表執行過的執行緒中，尚有一個執行緒需要使用該元件，故該條件式電源關閉指令C-off3不會對該元件進行關閉動作。假設程式流向為C-off1所在的分支，下一個執行到的條件式電源開控指令將為條件式電源關閉指令C-off1，將令該引用計數器減1(1-1=0)。由於該引用計數器為'0'，代表執行過的執行緒皆已不再需要使用該元件。該條件式電源關閉指令C-off1將令該條件暫存器為該可電源開控狀態，並且將在判斷出該條件暫存器為該可電源開控狀態後，令該元件進入休眠狀態。

- [0022] 然而，上述實施方式在某些特例中，可能會發生反覆啟動/關閉元件的狀況。以下以一特例—完整執行完該第一執行緒後，方執行該第二執行緒—說明之。首先執行到的條件式電源閘控指令為該條件式電源啟動指令C-on1。此時，該條件暫存器為初始值—該可電源閘控狀態—代表該元件尚未啟動。該條件式電源啟動指令C-on1將啟動該元件，並且令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態，以標示該元件已啟動。此外，該條件式電源啟動指令C-on1將令該引用計數器加1($0+1=1$)，以標示該第一執行緒仍需要使用該元件。下一個執行的條件式電源閘控指令為該條件式電源關閉指令C-off1(假設程式流向為C-off1所在的分支)。該條件式電源關閉指令C-off1將令該引用計數器減1($1-1=0$)，以標示該第一執行緒不再需要該元件。該條件式電源關閉指令C-off1將令該條件暫存器切換至該可電源閘控狀態，並且在確認該條件暫存器為該可電源閘控狀態後，令該元件進入休眠狀態。下一個執行到的條件式電源閘控指令為該條件式電源啟動指令C-on2。由於目前該條件暫存器為該可電源閘控狀態—代表該元件為休眠狀態，該條件式電源啟動指令C-on2將啟動該元件，並且令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態以標示該元件已啟動。該處理器更將令該引用計數器加1($0+1=1$)，以標示該第二執行緒仍需要使用該元件。下一個執行到的條件式電源閘控指令為該條件式電源關閉指令C-off3，將令該引用計數器減1($1-1=0$)，以標示該第二執行緒已不需要該元件。該條件式電源關閉指令C-off3將令該條件暫存器切換至該可電源閘控狀態，並且在確認該條件暫存器為該可電源閘控狀態後，令該元件進入休眠狀態。
- [0023] 在此特例中，該元件針對該第一執行緒啟動/關閉一次，並且針對該第二執行緒再度啟動/關閉一次。由於元件的啟動與關閉也會耗費能量，故本發明更揭露一種更加省電的實施方式。此一實施方式除了上述條件暫存器與上述引用計數器外，更提供一執行緒計數器，其初始值為該等執行緒之總數。上述條件式電源啟動指令將判斷該條件暫存器是否為該可電源閘控狀態。若該條件暫存器為該可電源閘控狀態，該條件式電源啟動指令將啟動該元件並且令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態。此外，不論該條件暫存器狀態為何，該引用計數器都將加1並且該執行緒計數器都將減1。上述條件式電源關閉指令將令該引用計數器減1，並且判斷該引用計數器與該執行緒計數器是否皆為零。若該引用計數器與該執行緒計數器皆為零，該條件式電源關閉指令將令該條件暫存器為該可電源閘控狀態，並且在判斷出該條件暫存器為該可電源閘控狀態後令該元件進入休眠狀態。
- [0024] 此實施方式應用於上述特例時，將不會反覆地啟動/關閉該元件，可避免過多的啟動/關閉動作所造成的能量耗費。參閱第2圖，以上述特例(先執行完該第一執行緒，方執行該第二執行緒)詳細說明本實施方式的運作。首先執行的條件式電源閘控指令為該條件式電源啟動指令C-on1。由於該條件暫存器為初始值—該可電源閘控狀態—代表該元件尚未啟動，該條件式電源啟動指令C-on1將啟動該元件，並且切換該條件暫存器不為該可電源閘控狀態，以標示該元件已啟動。該條件式電源啟動指令C-on1將令該引用計數器加1($0+1=1$)，以標示該第一執行緒仍需使用該元件。此外，該條件式電源啟動指令C-on1更將令該執行緒計數器減1($2-1=1$)，以標示尚未開始執行的執行緒數目為'1'。下一個執行的條件式電源閘控指令為該條件式電源關閉指令C-off1(假設程式流向為C-off1所在之分支)，將令該引用計數器減1($1-1=0$)，以標示該第一執行緒已不需再使用該元件。由於該執行緒計數器尚不為零—代表該可能並行發生區域100中尚有其他還未開始執行的執行緒需要使用該元件，故該條件式電源關閉指令C-off1將不關閉該元件。下一個執行的條件式電源閘控指令為該條件式電源啟動指令C-on2。由於此時該條件暫存器不為該可電源閘控狀態，表示該元件早已啟動，故該條件式電源啟動指令C-on2將不會對該元件進行啟動動作。此外，該條件式電源啟動指令C-on2將令該引用計數器加1($0+1=1$)，以標示該第二執行緒仍需使用該元件；並且將令該執行緒計數器減1($1-1=0$)，以標示所有執行緒都已開始執行。下一個執行的條件式電源閘控指令為該條件式電源關閉指令C-off3，將令該引用計數器減1($1-1=0$)，以標示該第一與該第二執行緒皆已不需要再使用該元件。由於該引用計數器與該執行緒計數器皆為零，可判定該可能並行發生區域100中，所有需要該元件的指令都已執行完畢。該條件式電源關閉指令C-off3將令該元件進入休眠狀態。

[0025] 然而，不一定所有的多執行緒程式，應用上述電源開控方式就會比較省電。有時候，普通電源開控方法一單純地在該可能並行發生區域的起始處以及結束處分別啟動以及關閉該元件一會更為省電。因此，本發明更揭露一種判斷機制，在佈置上述條件式電源啟動指令以及條件式電源關閉指令前，判斷上述電源開控方法是否較普通電源開控方法省電。在確定上述條件式電源開控方法較該普通電源開控方法省電後，方以上述條件式電源開控方法取代該普通電源開控方法。

[0026] 本發明一實施方式以一不等式判定上述電源開控方法較普通電源開控方法省電。該不等

$$\overline{M}(C) + \underline{M}(C) > K \times \frac{E_{pseudo_on}(C) + E_{pseudo_off}(C)}{P_{leak}(C) - P_{rleak}(C)}。$$

式如下：

[0027] C 為元件之代號。並且，其中， i 為執行緒之代號， $\overline{\delta}_{i,C}$ 代表第 i 執行緒之起始點與該第 i 執行緒首次使用元件 C 之時間點的時間差， $\delta(i,C)$ 代表該第 i 執行緒末次使用元件 C 之時間點與該第 i 執行緒之結束點的時間差。 $P_{leak}(C)$ 為元件 C 之電源未關閉時的漏電功率。 $P_{rleak}(C)$ 為元件 C 為休眠狀態時的漏電功率。 K 為執行緒的總數。 $E_{pseudo_on}(C)$ 為執行該條件式電源啟動指令但不啟動元件 C 時的耗能。 $E_{pseudo_off}(C)$ 為執行該條件式電源關閉指令但不關閉該元件 C 時的耗能。

[0028] 以第1圖為例，該元件的代號為 C 。該第一執行緒的代號為 '1'，該第二執行緒的代號為 '2'。 K 等於2。 $\overline{\delta}_{1,C} = 2$ ， $\overline{\delta}_{2,C} = 3$ ，故 $\overline{M}(C) = \min(2, 3) = 2$ 。 $\underline{M}(1,C)$ 可能為2(分支 B_{n+3}) 或3(分支 B_{n+4} 、 B_{n+5})， $\underline{M}(2,C) = 2 \times 3 + 1 = 7$ ，故 $\underline{M}(C) = \min(2, 3, 7) = 2$ 。 $\overline{M}(C) + \underline{M}(C)$ 為4。

[0029] 假設 $E_{pseudo_on}(C)$ 與 $E_{pseudo_off}(C)$ 皆為5、 $P_{leak}(C)$ 為7、並且 $P_{rleak}(C)$ 為0。則。由於，上述電源開控方法較普通電源開控方法省電。

[0030] 上述實施方式不僅可藉由關閉元件之電源來降低能量消耗，亦可藉由多重門檻電壓、或任何硬體調控機制來降低能量消耗。

[0031] 上述實施方式縱然僅以一個元件作說明，但具有複數個可電源開控之元件的系統(例如：一電腦系統，其整數乘法器、浮點數加法器、浮點數乘法器、浮點數除法器...等皆為可電源開控的元件)亦可藉由上述電源開控方法控制其複數個元件於一多執行緒程式中的啟動/關閉狀態。

[0032] 然而，隨著系統內可電源開控的元件數目的增多，上述條件式電源開控方法所需要的條件暫存器、引用計數器、執行緒計數器的數目也會增多。舉例說明之，假設一硬體具有 N 個可電源開控的元件，則上述實施方式將需要 N 個條件暫存器以分別記錄上述 N 個元件是否已啟動，並且需要專屬於上述 N 個元件的 N 個引用計數器與 N 個執行緒計數器。因此，本發明更提出一種實施方式，將同一執行緒中不同元件的條件式電源開控指令合併。此種實施方式將令所有元件共用一個條件暫存器、一個引用計數器、以及一個執行緒計數器。

[0033] 此實施方式首先將根據複數個元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，於各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條條件式電源啟動指令以及一條條件式電源關閉指令。第3圖為本實施方式的一說明例，其中已佈置條件式電源開控指令，其中包括：條件式電源啟動指令 $C-on1 \sim C-on6$ 、以及條件式電源關閉指令 $C-off1 \sim C-off8$ 。本說明例包括三個元件 FU_1 、 FU_2 、以及 FU_3 。一可能並行發生區域200包括兩個執行緒：一第一執行緒、以及一第二執行緒。該第二執行緒之迴圈至少執行三次。'W' 代表元件於此指令中需要被使用。

[0034] 根據已佈置完條件式電源啟動、關閉指令的控制流程圖(如第3圖)，本實施方式將判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併。若可合併，則令該等元件於同一執行緒中共用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令。

- [0035] 假設第3圖之條件式電源啟動、關閉指令於各執行緒中為可合併，則其共用型條件式電源啟動、關閉指令的佈置情形如第4圖所示。於該第一執行緒中，FU₂ 為該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 中最早使用到的元件，故一共用型條件式電源啟動指令C-C-on1將佈置於B_{m+3} 之前，以取代第3圖之條件式電源啟動指令C-on1、C-on2、以及C-on3。該共用型條件式電源啟動指令C-C-on1將判斷該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 是否已啟動。若該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 尚未啟動，則該共用型條件式電源啟動指令C-C-on1將一同啟動所有上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。於該第二執行緒中，FU₁ 為該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 中最早使用到的元件，故一共用型條件式電源啟動指令C-C-on2將佈置於B_{i+3} 之前，以取代第3圖之條件式電源啟動指令C-on4、C-on5、以及C-on6。該共用型條件式電源啟動指令C-C-on2將判斷該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 是否已啟動。若該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 尚未啟動，則該共用型條件式電源啟動指令C-C-on2將一同啟動所有上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。
- [0036] 於該第一執行緒中，上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 可能最晚於時序編號B_{n+3} (元件FU₂)或B_{n+4} (元件FU₂ 以及元件FU₃)中被使用。因此，針對B_{n+3} 所在的程式分支，本實施方式將以一第一共用型條件式電源關閉指令C-C-off1代替第3圖之條件型電源關閉指令C-off1、C-off2、以及C-off4；針對B_{n+4} 所在的程式分支，本實施方式將以一第二共用型條件式電源關閉指令C-C-off2代替第3圖之條件型電源關閉指令C-off1、C-off3、以及C-off5。該共用型條件式電源關閉指令C-C-off1將判斷該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 中是否仍有元件需要被使用。若該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 皆已不需被使用，則該共用型條件式電源關閉指令C-C-off1將一同關閉所有上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。該共用型條件式電源關閉指令C-C-off2的動作與該共用型條件式電源關閉指令C-C-off1相同。該第二執行緒最晚使用到上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 處為時序編號B_{j+3} (元件FU₂)。本實施例將以一共用型條件式電源關閉指令C-C-off3取代第3圖的條件式電源關閉指令C-off6、C-off7、以及C-off8。該共用型條件式電源關閉指令C-C-off3的動作與該共用型條件式電源關閉指令C-C-off1相同。
- [0037] 本發明的另一實施方式更提供一條件暫存器以及一引用計數器供上述共用型條件式電源開控指令使用。該條件暫存器的初始值為一可電源開控狀態。該引用計數器之初始值為零。以第4圖為例，假設該可能並行發生區域200的執行順序為：先執行部份上述第一執行緒(B_{m+1} ~B_{m+3})、再跳去完整執行該第二執行緒(B_{i+1} ~B_{j+6})、最後跳回將剩餘的第一執行緒(B_{m+4} ~B_{n+7})執行完畢。首先執行到的共用型條件式電源開控指令為該共用型條件式電源啟動指令C-C-on1，該指令首先將判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態。若該條件暫存器為該可電源開控狀態—代表上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 尚未啟動，該共用型條件式電源啟動指令C-C-on1將一同啟動所有上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃，並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態，以標示該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 已啟動。此外，不論該條件暫存器的狀態為何，該引用計數器都將加1(0+1=1)，以標示目前已執行過並且仍然需要使用到任一上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 的執行緒之數目。下一個執行到的共用型條件式電源開控指令為該共用型條件式電源啟動指令C-C-on2。由於該條件暫存器不為該可電源開控狀態，該指令C-C-on2將判定該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃ 的電源皆已啟動，不需再執行啟動動作。此外，該指令C-C-on2將令該引用計數器加1(1+1=2)，以標示目前執行過的第一與第二執行緒皆仍需要任一上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。下一個執行到的共用型條件式電源開控指令為該共用型條件式電源關閉指令C-C-off3，將令該引用計數器減1(2-1=1)，以標示該第二執行緒已不再需要使用上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。由於該引用計數器仍不為零，表示該第一執行緒仍需要使用到上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃，故該指令C-C-off3將不會關閉該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃。視程式所執行到的分支而

定，下一個共用型條件式電源閘控指令可能為共用型條件式電源關閉指令C-C-off1或C-C-off2。假設程式流向為指令C-C-off1所在的分支，則該指令C-C-off1將令該引用計數器減1(1-1=0)，以標示目前連該第一執行緒也不會再使用到上述元件FU₁、FU₂、以及FU₃。該指令C-C-off1將令該條件暫存器切換至該可電源閘控狀態，並且在該條件暫存器切換後令該等元件FU₁、FU₂、以及FU₃一同進入休眠狀態，以降低漏電流所引起的能量消耗。

[0038] 然而，上述共用型條件式電源閘控指令不一定適用於所有程式。在某些情況下，未合併的條件式電源閘控指令較上述共用型條件式電源閘控指令省電。

[0039] 本發明提出一不等式，用以判斷一程式是否適用上述共用型條件式電源閘控指令。該不

$$\sum_{\forall C} [(\overline{M}(C) - \underline{M} + \underline{M}(C) - \underline{M}) \times (P_{leak}(C) - P_{rleak}(C))]$$

$$< -K \times (E_{pseudo_on} + E_{pseudo_off}) + \sum_{\forall C} K_C \times (E_{pseudo_on}(C) + E_{pseudo_off}(C)),$$

等式如下：

C 為上述元

件之代號。並且，其中，i 為上述執行緒之代號， $\overline{\delta}_{i,C}$ 代表第 i 執行緒之起始點與該第 i 執行緒首次使用元件 C 之時間點的時間差，並且 $\underline{\delta}_{i,C}$ 代表該第 i 執行緒末次使用元件 C 的時間點與該第 i 執行緒之結束點的時間差。 $P_{leak}(C)$ 為元件 C 之電源未關閉時的漏電功率。 $P_{rleak}(C)$ 為元件 C 之電源為關閉時的漏電功率。K 為上述執行緒的總數。 E_{pseudo_on} 為執行該共用型條件式電源啟動指令但不啟動該等元件時的耗能。 E_{pseudo_off} 為執行該共用型條件式電源關閉指令但不關閉該等元件時的耗能。 K_C 代表與元件 C 相關的執行緒總數。 $E_{pseudo_on}(C)$ 為執行元件 C 之上述條件式電源啟動指令但不啟動元件 C 時的耗能。 $E_{pseudo_off}(C)$ 為執行元件 C 之上述條件式電源關閉指令但不關閉元件 C 時的耗能。

[0040] 以第3圖為例，該第一執行緒的代號為' 1'，該第二執行緒的代號為' 2'。K 等於2。

其中， $\overline{\delta}_{1,FU_1} = 3$ 、 $\overline{\delta}_{2,FU_1} = 2$ ，故； $\overline{\delta}_{1,FU_2} = 2$ 、 $\overline{\delta}_{2,FU_2} = 3$ ，故；並且 $\overline{\delta}_{1,FU_3} = 3$ 、 $\overline{\delta}_{2,FU_3} = 3$ ，故。

[0041] 因此，。

[0042] 此外，視程式流向而定， $\underline{\delta}_{1,FU_1}$ 可能為3(1+2)或4(2+2)、 $\underline{\delta}_{1,FU_2}$ 可能為2或3(1+2)、 $\underline{\delta}_{1,FU_3}$ 可能為3(1+2)或3(1+2)。由於 $\underline{\delta}_{2,FU_1} = 1 + 2 \times 3 + 1 = 8$ ，故。由於 $\underline{\delta}_{2,FU_2} = 2 \times 3 + 1 = 7$ ，故。由於 $\underline{\delta}_{2,FU_3} = 1 + 2 \times 3 + 1 = 8$ 故。因此， $M = \min(M(FU_1), M(FU_2), M(FU_3)) = 2$ 。

[0043] 僅需將 $P_{leak}(FU_1) \sim P_{leak}(FU_3)$ 、 $P_{rleak}(FU_1) \sim P_{rleak}(FU_3)$ 、 E_{pseudo_on} 、 E_{pseudo_off} 、 $E_{pseudo_on}(FU_1) \sim E_{pseudo_on}(FU_3)$ 、 $E_{pseudo_off}(FU_1) \sim E_{pseudo_off}(FU_3)$ 代入上述不等式，即可得知第4圖之共用型條件式電源閘控指令是否較第3圖之條件式電源閘控指令省電。

[0044] 本發明更揭露一種電源閘控系統，以實現上述電源閘控方法。第5圖為其中一種實施方式，其中包括一元件502、一編譯器(未顯示在圖中)、一電源閘控控制器504、一電源閘控暫存器506、一開關508、以及一條件暫存器510。該元件502可由其電源開關512決定其為一使用狀態或一休眠狀態。若該電源閘控系統乃應用於一電腦裝置中，該元件502可為一運算元件(例如：整數乘法器、浮點數加法器、浮點數乘法器、或浮點數除法器...等)、或一處理器週邊元件。該開關508耦接於該電源閘控控制器504與該電源閘控暫存器506之間，在該條件暫存器510為一可電源閘控狀態時導通。該條件暫存器504之初始值為該可電源閘控狀態。

[0045] 該編譯器在編譯一多執行緒程式時，將分析出該程式之可能並行發生區域。以一可能並行發生區域為例，該編譯器將根據該元件502在該可能並行發生區域之複數個執行緒的

使用狀態，於各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條件式電源啟動指令與一條件式電源關閉指令。在執行上述條件式電源啟動指令時，該電源開控控制器504將判斷該條件暫存器510是否為該可電源開控狀態。若該條件暫存器510為該可電源開控狀態，則該電源開控控制器504將藉由導通的開關508令該電源開控暫存器506為一啟動電源開關狀態(以啟動該元件502之電源開關512。);並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態，以標示該元件502之電源開關512已啟動。在執行到上述條件式電源關閉指令時，該電源開控控制器504將判斷該元件502是否仍需被使用。若該元件502已不需被使用，則該電源開控控制器504將令該條件暫存器510為該可電源開控狀態508，以導通該開關508;並且令該電源開控暫存器506為一關閉電源開關狀態，以關閉該元件502之電源開關512。

- [0046] 第6圖圖解本發明另一實施方式。與第5圖相較，其中更包括一引用計數器606，其初始值為零。與第5圖所描述之實施方式相較，在執行上述條件式電源啟動指令時，該電源開控控制器604更將令該引用計數器606加1，以標示目前已執行過的執行緒中，有幾個執行緒仍需使用該元件602。在執行上述條件式電源關閉指令時，該電源開控控制器604更將令該引用計數器606減1，將已經不需要再使用該元件602的執行緒由該引用計數器606扣除;然後判斷該引用計數器606是否為零。若該引用計數器606為零，表示目前執行過的執行緒皆已不需要要該元件602，該元件602可進入休眠狀態。
- [0047] 第7圖圖解本發明之電源開控系統的另一種實施方式。與第5圖相較，其中更包括一引用計數器706與一執行緒計數器708。該引用計數器706之初始值為一可電源開控狀態。該執行緒計數器708之初始值為該等執行緒之總數。與第5圖所描述之實施方式相較，在執行上述條件式電源啟動指令時，該電源開控控制器704更將令該引用計數器706加1，以標示目前已執行過的執行緒中，有幾個執行緒仍需使用到該元件702。此外，該電源開控控制器704更將令該執行緒計數器708減1，以標示目前尚未開始執行的執行緒數目。在執行到上述條件式電源關閉指令時，該電源開控控制器704更將令該引用計數器706減1，將已經不需要再使用到該元件702之執行緒由該引用計數器706中扣除;然後判斷該引用計數器706與該執行緒計數器708是否皆為零。若該引用計數器706與該執行緒計數器708皆為零，則代表該可能並行發生區域已不再需要使用該元件702，該元件702可進入休眠狀態。
- [0048] 上述條件式電源開控系統可包括複數個元件。第8圖為一種實施方式，其中包括複數個元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 、 FU_N 。該等元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 、 FU_N 可由各自對應之電源開關決定其為一使用狀態或一休眠狀態。第8圖所示之條件式電源開控系統包括對應上述元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 與 FU_N 的複數個電源開控暫存器 pgr_1 、 pgr_2 、 \dots 與 pgr_N 、複數個開關 SW_1 、 SW_2 、 \dots 與 SW_N 、複數個條件暫存器 cr_1 、 cr_2 、 \dots 與 cr_N 。基於第5圖所述之電源開控系統，該電源開控控制器802將根據各元件(FU_k)的條件式電源啟動、關閉指令，控制相對應的條件暫存器(cr_k)之值，藉以控制相對應之開關(SW_k)。
- [0049] 然而，隨著元件的數量上升(N上升)，電源開控暫存器、開關、與條件暫存器的數量也必須隨之增加。因此，本發明更提出一種針對複數個元件所設計的電源開控系統。如第9圖所示，其中以一個電源開控暫存器902、一個開關904、與一個條件暫存器906取代第8圖之複數個電源開控暫存器 pgr_1 、 pgr_2 、 \dots 與 pgr_N 、複數個開關 SW_1 、 SW_2 、 \dots 與 SW_N 、與複數個條件暫存器 cr_1 、 cr_2 、 \dots 與 cr_N 。所有元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 與 FU_N 的電源開關乃由該電源開控暫存器902統一控制。開關904耦接於該電源開控控制器908與該電源開控暫存器902之間，由該條件暫存器906所控制。該條件暫存器906的初始值為一可電源開控狀態，將令該開關904為導通。
- [0050] 第9圖所述之條件式電源開控系統的編譯器(未顯示於圖中)將根據該等元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 與 FU_N 在一可能並行發生區域之複數個執行緒的使用狀態，於各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條件式電源啟動指令以及一條件式電源關閉指令。該編譯器更將判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併。若可合併，該編譯器將令該等元件 FU_1 、 FU_2 、 \dots 與 FU_N 於同一執行緒中共

用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令。

- [0051] 在執行上述共用型條件式電源啟動指令時，該電源開控控制器908將判斷該條件暫存器906是否為該可電源開控狀態。若該條件暫存器906為該可電源開控狀態，則代表該開關904為導通，並且該等元件FU₁、FU₂、…與FU_N皆尚未啟動。此時，該電源開控控制器908將令該電源開控暫存器902為一啟動電源開關狀態(將所有元件FU₁、FU₂、…與FU_N一同啟動)；並且令該條件暫存器906不為該可電源開控狀態，以標示所有元件FU₁、FU₂、…與FU_N皆已被啟動。
- [0052] 在實際執行上述共用型條件式電源關閉指令時，該電源開控控制器908將判斷該等元件FU₁、FU₂、…與FU_N是否仍需被使用。若該等元件FU₁、FU₂、…與FU_N皆已不需被使用，則表示該等元件FU₁、FU₂、…與FU_N皆可進入休眠狀態。此時，該電源開控控制器908將令該條件暫存器906為該可電源開控狀態；並且經由導通的該開關904將該電源開控暫存器902設定為一關閉電源開關狀態。所有元件FU₁、FU₂、…與FU_N將一同進入休眠狀態。
- [0053] 第10圖圖解第9圖之電源開控系統的另一種實施方式，其中更包括一引用計數器1002，其初始值為零。與第9圖相較，該電源開控控制器1004更在執行上述共用型條件式電源啟動指令時令該引用計數器1002加1，以標示目前已執行過的執行緒中，有幾個執行緒仍需使用到任一上述元件FU₁、FU₂、…與FU_N。此外，該電源開控控制器1004在執行上述共用型條件式電源關閉指令時將更令該引用計數器1002減1；然後判斷該引用計數器1002是否為零。若該引用計數器1002為零，則代表目前已執行過的執行緒已全部不需再使用上述元件FU₁、FU₂、…與FU_N。上述元件FU₁、FU₂、…與FU_N皆可進入休眠狀態。
- [0054] 本發明雖以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明的範圍，任何熟習此項技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可做些許的更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

- [0090] 第1圖為一元件於一多執行緒程式的一可能並行發生區域之控制流程圖；第2圖圖解佈置有條件式電源啟動、關閉指令的第1圖說明例；第3圖為複數個元件於一多執行緒程式的一可能並行發生區域之控制流程圖，其中已佈置有條件式電源啟動、關閉指令；第4圖以共用型條件式電源啟動、關閉指令代替第3圖之條件式電源啟動、關閉指令；第5圖為本發明之電源開控系統的一實施方式；第6圖為本發明之電源開控系統的另一實施方式；第7圖為本發明之電源開控系統的另一實施方式；第8圖為本發明之電源開控系統的另一實施方式；第9圖為本發明之電源開控系統的另一實施方式；以及第10圖為本發明之電源開控系統的另一實施方式。

【主要元件符號說明】

- [0055] 100 . . . 可能並行發生區域
 [0056] 200 . . . 可能並行發生區域
 [0057] 502 . . . 元件
 [0058] 504 . . . 電源開控控制器
 [0059] 506 . . . 電源開控暫存器
 [0060] 508 . . . 開關
 [0061] 510 . . . 條件暫存器
 [0062] 512 . . . 元件之電源開關
 [0063] 602 . . . 元件
 [0064] 604 . . . 電源開控控制器
 [0065] 606 . . . 引用計數器
 [0066] 702 . . . 元件

- [0067] 704 . . . 電源開控控制器
- [0068] 706 . . . 引用計數器
- [0069] 708 . . . 執行緒計數器
- [0070] 802 . . . 電源開控控制器
- [0071] 902 . . . 電源開控暫存器
- [0072] 904 . . . 開關
- [0073] 906 . . . 條件暫存器
- [0074] 908 . . . 電源開控控制器
- [0075] 1002 . . . 引用計數器
- [0076] 1004 . . . 電源開控控制器
- [0077] $B_{m+1} \sim B_{m+5}$ 、 $B_{n+1} \sim B_{n+7}$ 、 $B_{i+1} \sim B_{i+5}$ 、與 $B_{j+1} \sim B_{j+6}$. . . 指令之時序編號
- [0078] C-C-off1、C-C-off2、與C-C-off3 . . . 共用型條件式電源關閉指令
- [0079] C-C-on1與C-C-on2 . . . 共用型條件式電源啟動指令
- [0080] C-off1、C-off2、 \dots 、與C-off8 . . . 條件式電源關閉指令
- [0081] C-on1、C-on2、 \dots 、C-on6 . . . 條件式電源啟動指令
- [0082] cr_1 、 cr_2 、 \dots 與 cr_N . . . 條件暫存器
- [0083] FU_1 、 FU_2 、 \dots 、與 FU_N . . . 元件
- [0084] GND . . . 接地端
- [0085] pgr_1 、 pgr_2 、 \dots 與 pgr_N . . . 電源開控暫存器
- [0086] SW_1 、 SW_2 、 \dots 與 SW_N . . . 開關
- [0087] V_{dd} . . . 電源
- [0088] $V-V_{dd}$. . . 虛擬電源(virtual V_{dd})
- [0089] W . . . 標示元件為使用中

七、申請專利範圍：

1. 一種電源開控方法，其中包括：根據一元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，於各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條件式電源啟動指令與一條件式電源關閉指令；其中，該條件式電源啟動指令將判斷該元件是否已啟動，若該元件尚未啟動，則該條件式電源啟動指令將啟動該元件，其中，該條件式電源關閉指令將判斷該元件是否仍需被使用，若該元件已不需被使用，則該條件式電源關閉指令將關閉該元件。
2. 如申請專利範圍第1項所述之電源開控方法，其中更包括：提供一條件暫存器，其初始值為一可電源開控狀態；以及提供一引用計數器，其初始值為零。
3. 如申請專利範圍第2項所述之電源開控方法，其中該條件式電源啟動指令所執行的步驟包括：判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則啟動該元件並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態；以及令該引用計數器加1。
4. 如申請專利範圍第3項所述之電源開控方法，其中該條件式電源關閉指令所執行的步驟包括：令該引用計數器減1；判斷該引用計數器是否為零，若該引用計數器為零，則令該條件暫存器為該可電源開控狀態；以及判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則關閉該元件。
5. 如申請專利範圍第2項所述之電源開控方法更包括提供一執行緒計數器，其初始值為該等執行緒之總數。
6. 如申請專利範圍第5項所述之電源開控方法，其中該條件式電源啟動指令所執行的步驟包括：判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則啟動該元件並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態；令該引用計數器加

1；並且令該執行緒計數器減1。

7. 如申請專利範圍第6項所述之電源開控方法，其中該條件式電源關閉指令所執行的步驟包括：令該引用計數器減1；判斷該引用計數器與該執行緒計數器是否皆為零，若該引用計數器與該執行緒計數器皆為零，則令該條件暫存器為該可電源開控狀態；以及判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則關閉該元件。

8. 如申請專利範圍第1項所述之電源開控方法，更包括在佈置上述條件式電源啟動指令以及條件式電源關閉指令前，判斷上述電源開控方法是否較一普通電源開控方法省電，若上述電源開控方法較該普通電源開控方法省電，則以上述電源開控方法取代該普通電源開控方法；其中該普通電源開控方法將一電源啟動指令以及一電源關閉指令分別佈置在該可能並行發生區域的起始處以及結束處。

9. 如申請專利範圍第8項所述之電源開控方法，更包括在一不等式被滿足時判定上述電源開控方法較該普通電源開控方法省電，該不等式如下：

$$(\overline{M}(C) + \underline{M}(C)) \times (P_{leak}(C) - P_{rleak}(C)) > K \times (E_{pseudo_on}(C) + E_{pseudo_off}(C)),$$

其中， C 為該元件之

代號， $\delta_i(C)$ 為上述執行緒之代號， $\delta_i(C)$ 代表第 i 執行緒之起始點與該第 i 執行緒首次使用該元件 C 之時間點的時間差， $\delta_i(C)$ 代表該第 i 執行緒末次使用該元件 C 之時間點與該第 i 執行緒之結束點的時間差， $P_{leak}(C)$ 為該元件 C 之電源未關閉時的漏電功率， $P_{rleak}(C)$ 為該元件 C 之電源關閉時的漏電功率， K 為上述執行緒的總數， $E_{pseudo_on}(C)$ 為執行該條件式電源啟動指令但不啟動該元件時的耗能，以及 $E_{pseudo_off}(C)$ 為執行該條件式電源關閉指令但不關閉該元件時的耗能。

10. 如申請專利範圍第1項所述之電源開控方法，其中上述元件為一電腦裝置內的運算元件或處理器週邊元件。

11. 一種電源開控方法，其中包括：根據複數個元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，於各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條條件式電源啟動指令以及一條條件式電源關閉指令；判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併，若可合併，則令該等元件於同一執行緒中共用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令；其中，該共用型條件式電源啟動指令將判斷該等元件是否已啟動，若該等元件尚未啟動，則該共用型條件式電源啟動指令將一同啟動所有上述元件，其中，該共用型條件式電源關閉指令將判斷該等元件是否仍需被使用，若該等元件已不需被使用，則該共用型條件式電源關閉指令將一同關閉所有上述元件。

12. 如申請專利範圍第11項所述之電源開控方法，其中更包括：提供一條條件暫存器，其初始值為一可電源開控狀態；以及提供一引用計數器，其初始值為零。

13. 如申請專利範圍第12項所述之電源開控方法，其中該共用型條件式電源啟動指令所執行的步驟包括：判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則一同啟動所有上述元件並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態；以及令該引用計數器加1。

14. 如申請專利範圍第13項所述之電源開控方法，其中該共用型條件式電源關閉指令所執行的步驟包括：令該引用計數器減1；判斷該引用計數器是否為零，若該引用計數器為零，則令該條件暫存器為該可電源開控狀態；以及判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則一同關閉所有上述元件。

15. 如申請專利範圍第11項所述之電源開控方法，更包括在一不等式被滿足時判定同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令可合併，該不等式如下：

$$\sum_{VC} [(\overline{M}(C) - \underline{M}(C)) \times (P_{leak}(C) - P_{rleak}(C))] < -K \times (E_{pseudo_on} + E_{pseudo_off}) + \sum_{VC} K_C \times (E_{pseudo_on}(C) + E_{pseudo_off}(C)),$$

其中， C 為該等元件

之代號， δ_i ，其中， i 為上述執行緒之代號， $\delta_i(C)$ 代表第 i 執行緒之起始點與該第 i 執行緒首次使用元件 C 之時間點的時間差； $\underline{\delta}(i, C)$ 代表該第 i 執行緒末次使用元件 C 的時間點與該第 i 執行緒之結束點的時間差； \overline{M} 代表該等元件中最小的 \overline{M}_C ， M 代表該等元件中最小的 $M(C)$ ， $P_{leak}(C)$ 為元件 C 之電源未關閉時的漏電功率， $P_{rleak}(C)$ 為元件 C 之電源為關閉時的漏電功率， K 為上述執行緒的總數， E_{pseudo_on} 為執行該共用型條件式電源啟動指令但不啟動該等元件時的耗能， E_{pseudo_off} 為執行該共用型條件式電源關閉指令但不關閉該等元件時的耗能， K_C 代表與元件 C 相關的執行緒總數， $E_{pseudo_on}(C)$ 為執行元件 C 之上述條件式電源啟動指令但不啟動元件 C 時的耗能，並且 $E_{pseudo_off}(C)$ 為執行元件 C 之上述條件式電源關閉指令但不關閉元件 C 時的耗能。

16. 如申請專利範圍第11項所述之電源閘控方法，其中上述元件為一電腦裝置內的運算元件或處理器週邊元件。
17. 一種電源閘控系統，其中包括：一元件，包括一電源開關；一編譯器，根據該元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒中的使用狀態，在各執行緒首次使用該元件之前與末次使用該元件之後分別佈置一條件式電源啟動指令與一條件式電源關閉指令；一電源閘控控制器；一電源閘控暫存器，由該電源閘控控制器控制，其值決定該元件的上述電源開關啟動與否；一開關，耦接於該電源閘控控制器與該電源閘控暫存器之間；以及一條件暫存器，用以控制該開關，其初始值為一可電源閘控狀態，該可電源閘控狀態將令該開關導通；其中，在執行上述條件式電源啟動指令時，該電源閘控控制器將判斷該條件暫存器是否為該可電源閘控狀態，若該條件暫存器為該可電源閘控狀態，則該電源閘控控制器將令該電源閘控暫存器為一啟動電源開關狀態，並且令該條件暫存器不為該可電源閘控狀態，其中，在執行上述條件式電源關閉指令時，該電源閘控控制器將判斷該元件是否仍需被使用，若該元件已不需被使用，則該電源閘控控制器將令該條件暫存器為該可電源閘控狀態，並且令該電源閘控暫存器為一關閉電源開關狀態。
18. 如申請專利範圍第17項所述之電源閘控系統，更包括一引用計數器，其初始值為零。
19. 如申請專利範圍第18項所述之電源閘控系統，其中該電源閘控控制器更在執行上述條件式電源啟動指令時令該引用計數器加1。
20. 如申請專利範圍第19項所述之電源閘控系統，其中該電源閘控控制器在執行上述條件式電源關閉指令時所執行的動作更包括：令該引用計數器減1；以及判斷該引用計數器是否為零，若該引用計數器為零，則判定該元件已不需被使用。
21. 如申請專利範圍第18項所述之電源閘控系統，更包括一執行緒計數器，其初始值為該等執行緒之總數。
22. 如申請專利範圍第21項所述之電源閘控系統，其中該電源閘控控制器更在執行上述條件式電源啟動指令時令該引用計數器加1，並且令該執行緒計數器減1。
23. 如申請專利範圍第22項所述之電源閘控系統，其中該電源閘控控制器在執行上述條件式電源關閉指令時所執行的動作更包括：令該引用計數器減1；判斷該引用計數器與該執行緒計數器是否皆為零，若該引用計數器與該執行緒計數器皆為零，則判定該元件已不需被使用。
24. 如申請專利範圍第22項所述之電源閘控系統，其中上述元件為一電腦裝置內的運算元件或處理器週邊元件。
25. 一種電源閘控系統，其中包括：複數個元件，各自包括一電源開關；一編譯器，根據該等元件在一可能並行發生區域之複數個執行緒的使用狀態，在各執行緒內各元件首次被使用之前以及末次被使用之後分別佈置一條件式電源啟動指令以及一條件式電源關閉指令，並且判斷同一執行緒中不同元件的上述條件式電源啟動、關閉指令是否可合併，若可合併，則令該等元件於同一執行緒中共用一共用型條件式電源啟動指令以及一共用型條件式電源關閉指令；一電源閘控控制器；一電源閘控暫存器，由該電源閘控控制器控制，其值決定上述所有元件之電源開關啟動與否；一開關，耦接於該電源閘控控制器與該電源閘控暫存器之間；以及一條件暫存器，用以控制該開關，其初始值為一可

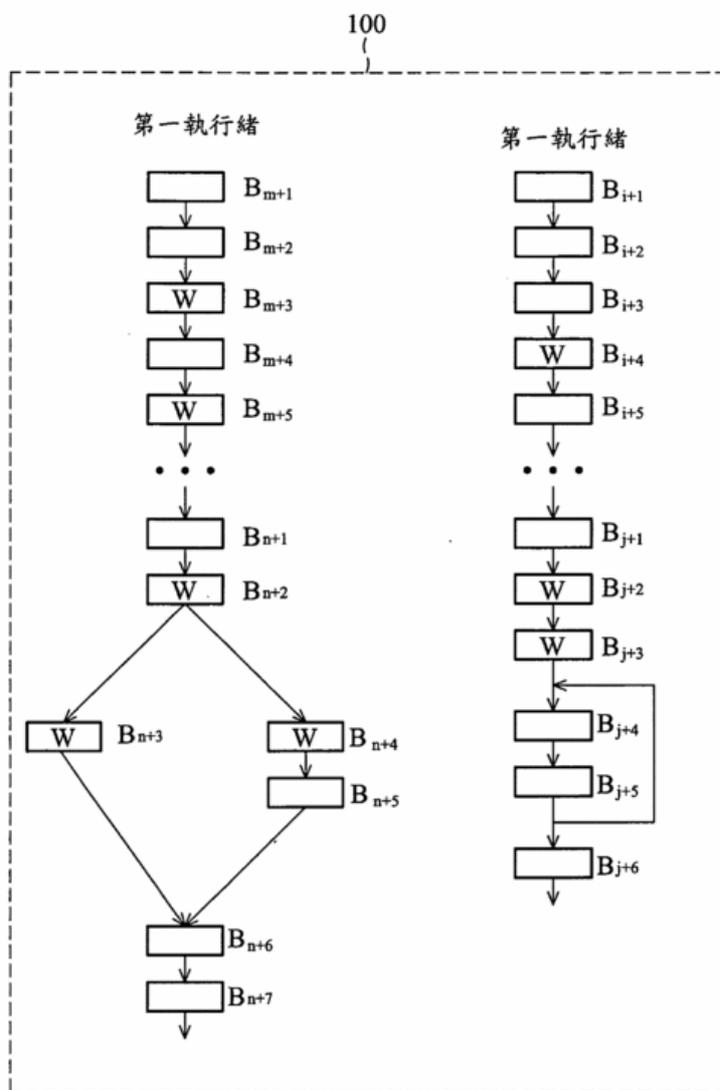
電源開控狀態，該可電源開控狀態將令該開關為導通；其中，在執行上述共用型條件式電源啟動指令時，該電源開控控制器將判斷該條件暫存器是否為該可電源開控狀態，若該條件暫存器為該可電源開控狀態，則該電源開控控制器將令該電源開控暫存器為一啟動電源開關狀態，並且令該條件暫存器不為該可電源開控狀態，其中，在執行上述共用型條件式電源關閉指令時，該電源開控控制器將判斷該等元件是否仍需被使用，若該等元件已不需被使用，則該電源開控控制器將令該條件暫存器為該可電源開控狀態，並且令該電源開控暫存器為一關閉電源開關狀態。

26. 如申請專利範圍第25項所述之電源開控系統，更包括一引用計數器，其初始值為零。

27. 如申請專利範圍第26項所述之電源開控系統，其中該電源開控控制器更在執行上述共用型條件式電源啟動指令時令該引用計數器加1。

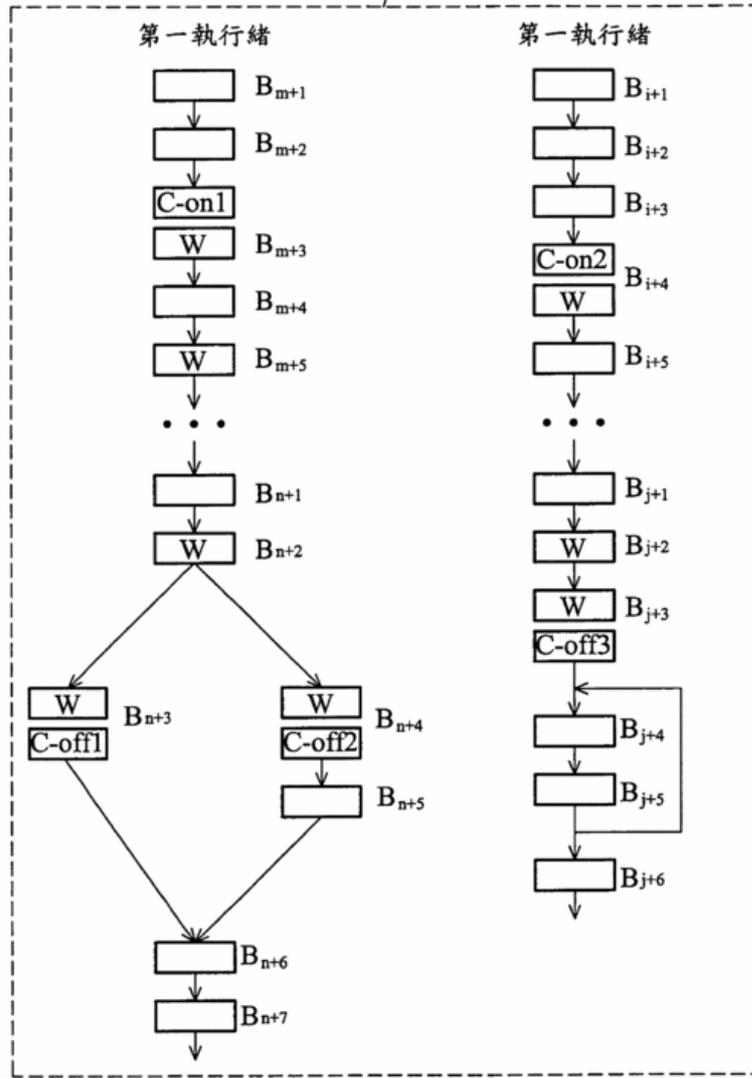
28. 如申請專利範圍第27項所述之電源開控系統，其中該電源開控控制器在執行上述共用型條件式電源關閉指令時所執行的動作更包括：令該引用計數器減1；以及判斷該引用計數器是否為零，若該引用計數器為零，則判定該等元件已不需被使用。

八、圖式：



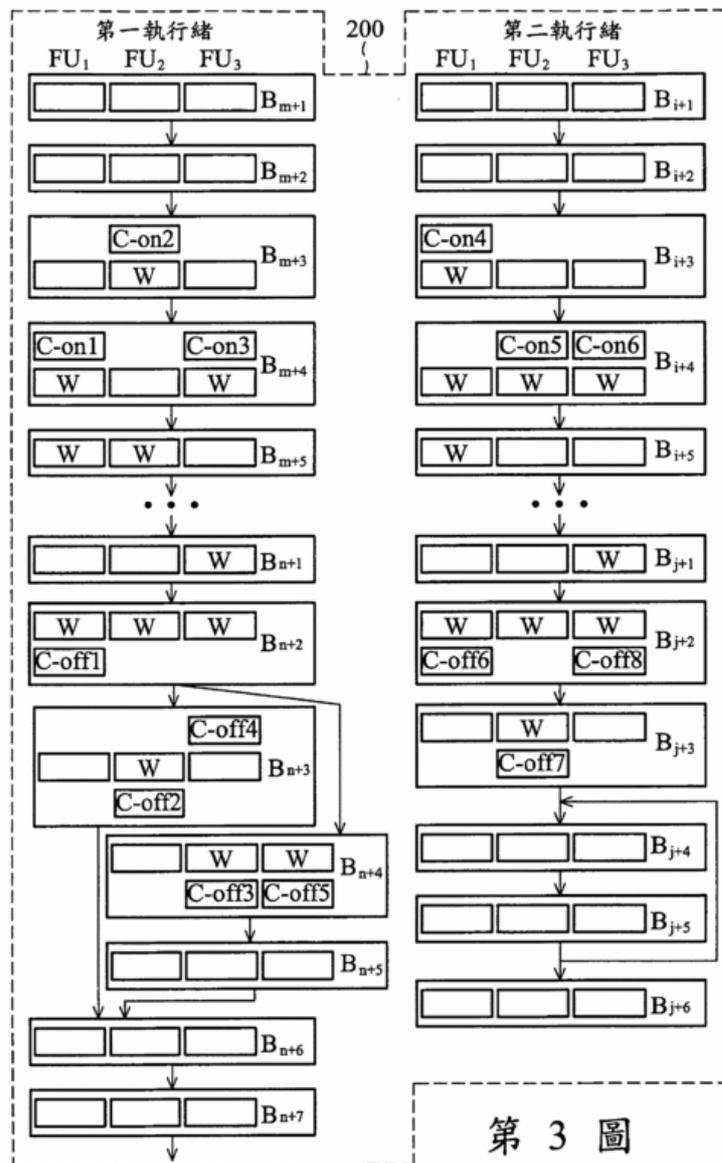
第 1 圖

第1圖



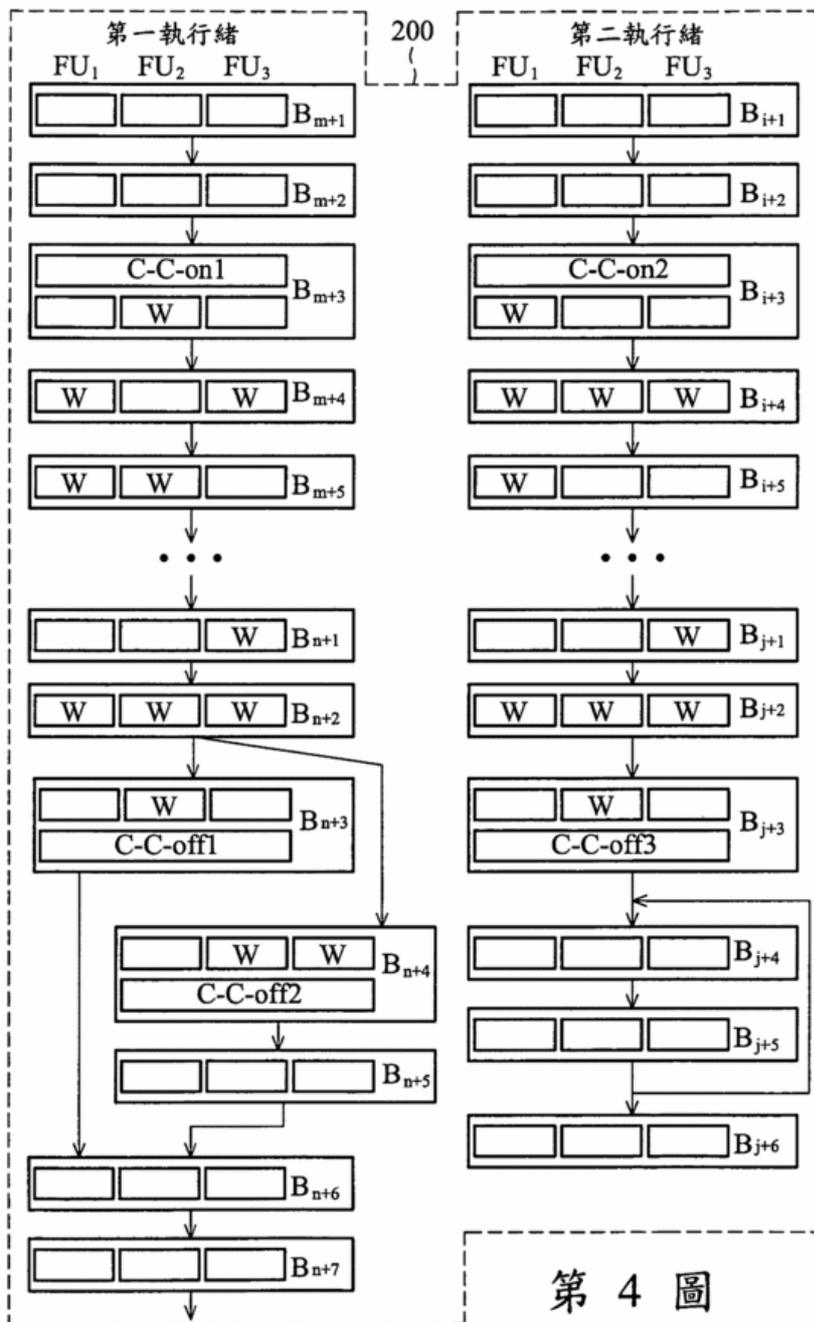
第 2 圖

第2圖

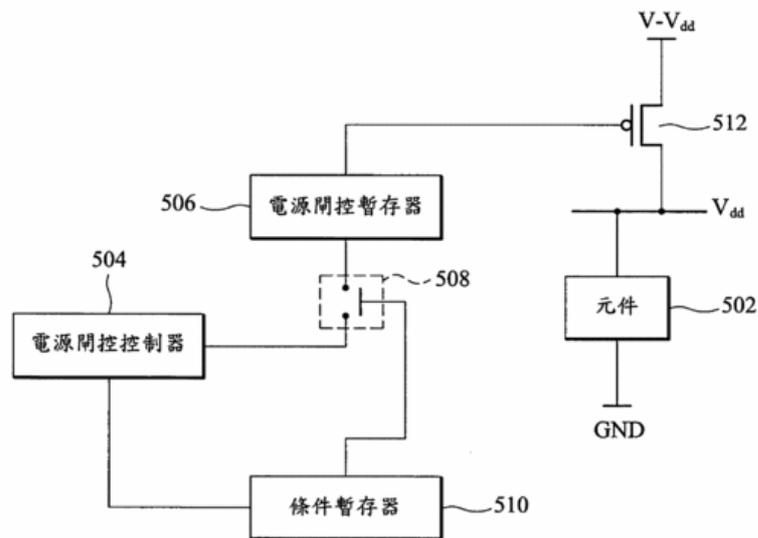


第 3 圖

第3圖

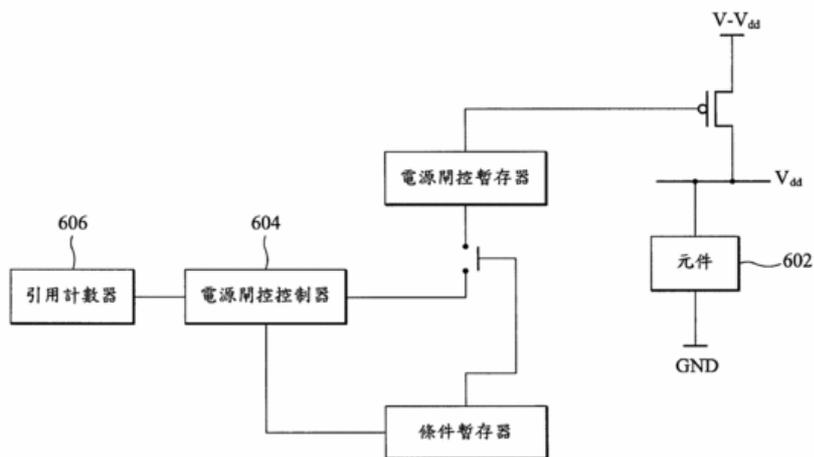


第4圖



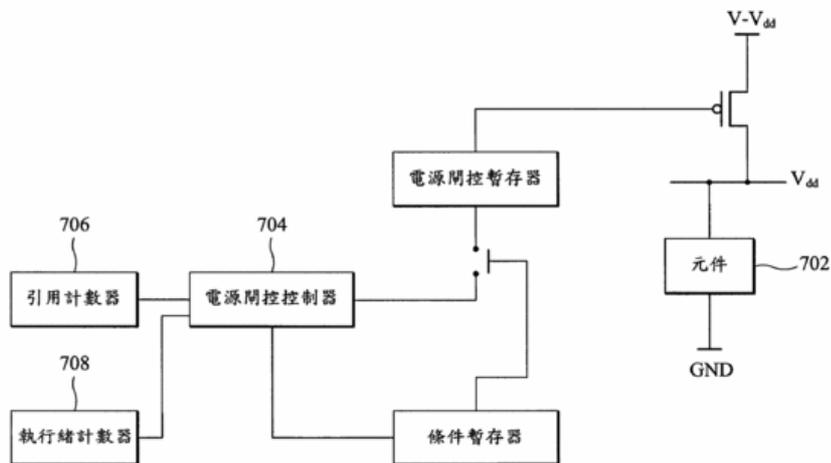
第 5 圖

第5圖



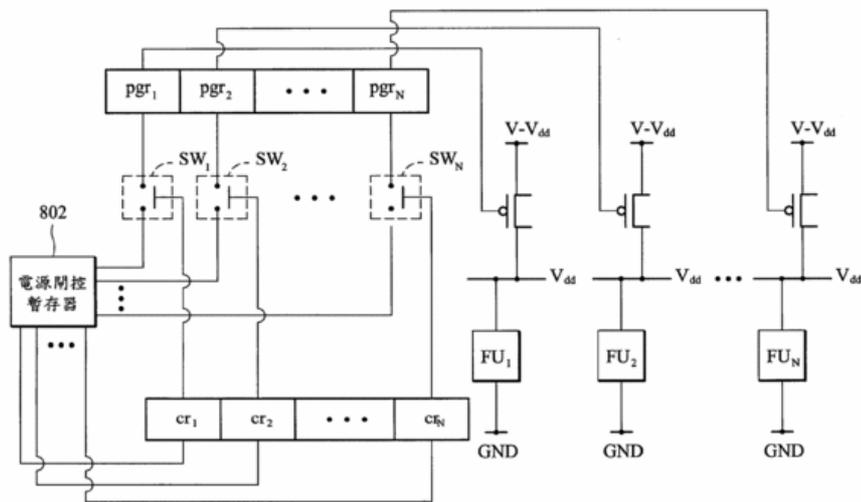
第 6 圖

第6圖



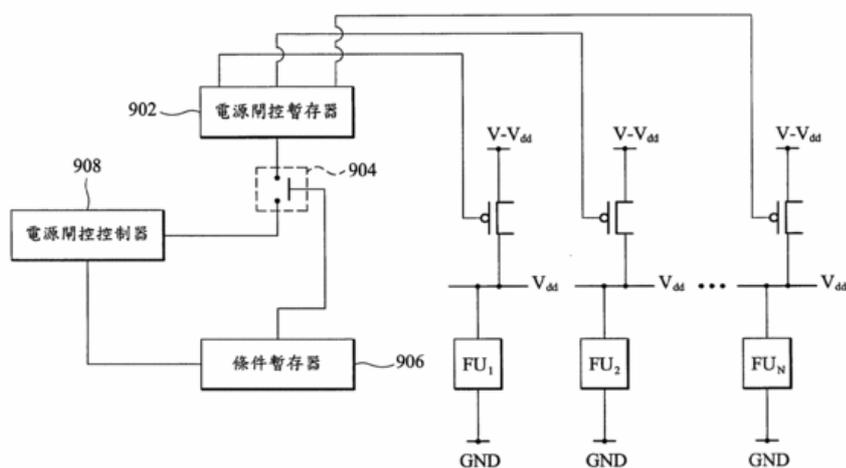
第 7 圖

第7圖



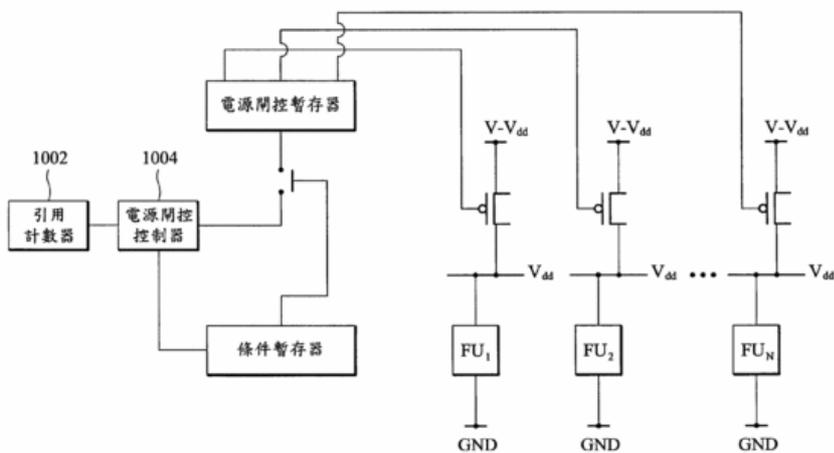
第 8 圖

第8圖



第 9 圖

第9圖



第 10 圖

第10圖