



(21)申請案號：104139829

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl. : A01G7/04 (2006.01)

(71)申請人：龍華科技大學(中華民國) (TW)

桃園市龜山區萬壽路一段 300 號

(72)發明人：王順忠(TW)；劉益華(TW)

(74)代理人：林文烽

(56)參考文獻：

TW I403212

CN 104932435A

JP 2014211567A

審查人員：王珮如

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：9 共 31 頁

(54)名稱

植物工廠用之光配方驗證平台

(57)摘要

一種植物工廠用之光配方驗證平台，具有：一電源轉換器以提供一可變輸出電壓；一 RGB LED 電路，由三個驅動信號控制其紅光 LED、綠光 LED、藍光 LED 之平均電流；一光感測器，用以提供紅光、綠光、及藍光之感測信號；以及一控制單元，用以執行一驅動信號產生程序以依所述紅光、綠光、及藍光之感測信號調整所述三個驅動信號之作用期間以使 RGB LED 電路提供所需之光配方，其中，該驅動信號產生程序係依紅光 LED、綠光 LED、藍光 LED 之平均電流與一門檻電流之比較結果決定工作於一第一模式或一第二模式。

指定代表圖：

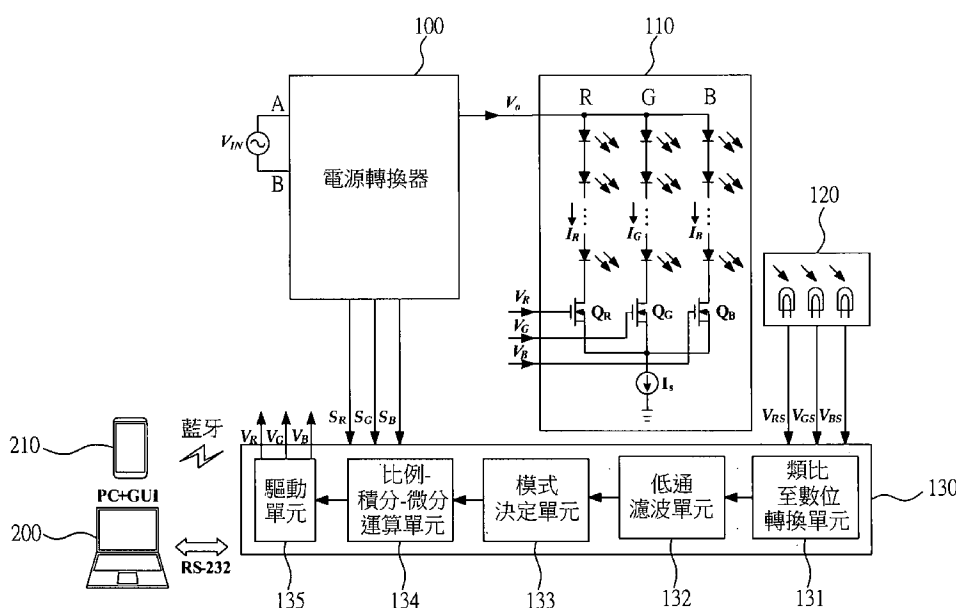


圖 1

符號簡單說明：

100 . . . 電源轉換器

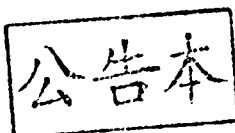
110 . . . RGB LED
電路

120 . . . 光感測器

130 . . . 控制單元

131 . . . 類比至數位
轉換單元132 . . . 低通濾波單
元133 . . . 模式決定單
元134 . . . 比例-積分-
微分運算單元

- 135 . . . 驅動單元
- 200 . . . 電腦
- 210 . . . 手機



申請日：

IPC分類：A01G 7/04 (2006.01)

【發明摘要】

【中文發明名稱】植物工廠用之光配方驗證平台

【中文】

一種植物工廠用之光配方驗證平台，具有：一電源轉換器以提供一可變輸出電壓；一RGB LED電路，由三個驅動信號控制其紅光LED、綠光LED、藍光LED之平均電流；一光感測器，用以提供紅光、綠光、及藍光之感測信號；以及一控制單元，用以執行一驅動信號產生程序以依所述紅光、綠光、及藍光之感測信號調整所述三個驅動信號之作用期間以使RGB LED電路提供所需之光配方，其中，該驅動信號產生程序係依紅光LED、綠光LED、藍光LED之平均電流與一門檻電流之比較結果決定工作於一第一模式或一第二模式。

【指定代表圖】 第(1)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

電源轉換器100

RGB LED電路110

光感測器120

控制單元130

類比至數位轉換單元131

低通濾波單元132

模式決定單元133

比例-積分-微分運算單元134

驅動單元135

電腦200

手機210

【發明說明書】

【中文發明名稱】植物工廠用之光配方驗證平台

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於植物工廠，特別是關於一種植物工廠用之光配方驗證平台。

【先前技術】

【0002】 據聯合國預測，到2050年，全球人口將由目前73億增加到100億，而80%的人口將居住在城市。同時，80%的可耕種土地已經被使用。此外，全球溫室效應造成各地氣候異常將使農作物產量大減，並導致食物價格上漲。因此糧食危機與糧食安全議題近年來已備受國際社會重視，人們也越來越關注糧食的生產方式。無農藥、有機、非基因改造農業為未來發展趨勢，這使得人們不斷尋求種植技術的創新，以實現無日光條件下的室內種植工法。

【0003】 植物工廠(歐美稱為垂直農業(vertical farming))，不但可以解決糧食危機，且不受環境日益惡化的影響。植物工廠包含建築、設備、環境控制、生長材料四大要點，這四大要點需相輔相成才能發揮最大效益。一般的植物工廠類型有陽光利用型、陽光與人工光源並用型及完全人工光源密閉型三種。植物工廠的設備包含燈源、風扇、濕度計、水源調整、二氧化碳供應設備等，其中以光源最為關鍵。目前植物用燈源有冷陰極螢光燈、金屬鹵素燈、高壓鈉燈、螢光燈和LED (light emitting diode；發光二極體)燈等。

【0004】 植物工廠自1957年後開始發展，荷蘭是目前植物工廠發展最好的國家之一。最新發展的園藝作物永續節能溫室生產技術與應用，結合了LED等人工光源的光照技術、光質、光通量，以及遠程自動監控系統等，可有效提升生產質量。荷蘭的未來植物工廠發展目標是溫室村(Zonneterp)，其係本著重複利用的概念節省能源及水源，以達到自給自足。隨著LED照明應用的成熟，結合LED光源的植物工廠也在近年來蓬勃發展。採用LED光源的植物生長燈具有體積小、重量輕、壽命長、無熱輻射、可調整光波長等優勢，使得LED燈受到多段式栽培植物工廠的青睞。雖然LED光源價格的下滑有助LED燈應用於植物工廠的滲透

率，但由植物生理學知不同植物對光的感知有很大差異，植物能夠很有效地利用特定波長的光，並對不同波長的光有很小的反應。因此並非日以繼夜對植物提供光照，就會有很好的收成。照射無效波長的光給植物，並無法滿足植物成長的需求，只徒增能源耗費和溫室氣體排放。另外，園藝LED照明深受地域特性影響，與當地的氣候、土壤、消費的需求等關聯度相當高。因此，必須針對不同地區發展出適合的光配方才能優化產量和節省能源。此外，每種植物所需的光照波長並不相同，如何利用光源特性達到量產的目標才是植物工廠發展的重點。由於LED性能參數、輸出光通量和波長很容易受到接面溫升影響，而LED的光衰問題也是植物工廠是否採用LED光源的考慮因素，因此，減少LED的光衰問題與建立不同植物栽種所需的光配方(light recipe)資料庫，才是植物工廠能否繼續蓬勃發展與具經濟價值的主要關鍵所在。

【0005】 目前文獻中針對使用LED用於植物生長燈的研究主要可以分為三大部分，第一為光配方研究，第二為基於無線感測網路之環境控制與監控人機系統建置，第三為提出高性能驅動架構以改善驅動電路之效率，茲分述如下：

【0006】 光配方研究：有研究指出LED光源的lm/W並不是LED光源是否適用於植物生長燈的關鍵，LED光源的波長才是關鍵。事實上，各種植物所需的光波長並不盡相同，各種植物有其適用的特定光波長。Philips、Osram、Mitsubishi、Panasonic等國際大廠近年來積極投入園藝LED照明，並將發展重點擺在光配方上面。因為園藝LED照明深受各地不同特性影響，與當地的氣候、消費的需求等關聯度相當高，因此，如何發展出適合不同區域的光配方是園藝LED照明的目標。有文獻提出低功率LED組合光源對東方型雜交百合鱗片增殖、葉片形成與發根之影響，並與傳統螢光燈管為對照組作比較，也有文獻分別針對不同植物使用RGB(紅綠藍)-LED不同波長之光照，並探討不同配方與紅、藍光不同比例下對於植物成長的效應，足見光配方資料庫之建立與驗證為未來植物工廠能否蓬勃發展與具經濟規模之關鍵。

【0007】 植物工廠環境控制與監控人機系統建置：植物工廠建立包含建築、設備、環境控制、生長材料四大要點，而精確的環境控制與友善的監控人

機系統，是能否完善建立光配方資料庫與大規模種植之關鍵。因此有許多文獻也提出不同的環境控制與監控人機系統架構，而隨著無線感測、資通訊網路技術的成熟與普及，近年來所提出的植物工廠環境控制與監控人機系統皆基於無線感測、通訊網路來建置。無線網路通訊協定配合不同終端設備(PC、筆電、智慧型手機與平板)提供許多方便性、可撓性、低成本、與方便長時間作資料紀錄，管理者無須天天到植物工廠，透過手機等無線通訊載具也能即時監控植物之生長環境，並做緊急處理。

【0008】 高性能驅動架構以改善驅動電路之效率：若需進一步降低成本而必須使用單組功率轉換器驅動RGB LED時，由於紅、綠、藍發光二極體分別具有不同的順向導通壓降，因此功率轉換器必須針對各發光二極體的導通電壓需求改變輸出電壓，如此方能降低穩流電路上的功率損失，此技術被稱為動態電壓調整技術。有文獻提出藉由回授各個LED串穩流電路上之電壓來動態調整功率轉換器的輸出電壓，以進一步降低穩流電路上的功率損耗。在驅動電路硬體架構方面，相較於白光LED驅動電路，紅、綠、藍LED驅動電路的架構就較為複雜，主要是因為紅光、綠光與藍光所需的驅動特性並不完全相同。有文獻提出以三組串聯諧振轉換器分別驅動不同順向壓降之紅、綠、藍發光二極體的架構，該驅動電路因具有零電壓切換功能而可以達到相當高的效率，缺點是需要三組轉換器；有文獻提出使用多組輸出之反馳式轉換器驅動紅、綠、藍發光二極體負載，其變壓器需特別設計；有文獻針對如何使用磁性放大器(Magnetic Amplifier)使多組輸出繞組適合驅動紅、綠、藍發光二極體負載進行探討；有文獻提出一用於大面積之LED面板的節能驅動方法，利用對現有硬體架構之低成本修改，可將多階段PWM (MPWM)調變驅動方法實現於LED驅動系統上；有文獻提出一浮動降壓可調光LED驅動器與固態照明應用，並提出適應性時序差補償機制，可適應性調整下側開關之截止時間，使得驅動器在寬的輸入電壓範圍和眾多的LED負載下，可達到高精度的平均電流、快速穩定時間、和高的操作頻率；也有文獻提出一具最佳軌跡控制之PWM調光策略用於多串定電流LLC共振LED驅動器，LED的亮度可由PWM調光信號控制。

【發明內容】

【0009】 本發明之主要目的在於提供一種植物工廠用之光配方驗證平台，其可高效率操作以混合出具特定色光之照明光，且可藉由一光波長回授補償機制克服因LED老化而使照明光之波長偏移的問題。

【0010】 為達上述目的，一種植物工廠用之光配方驗證平台乃被提出，其具有：

【0011】 一電源轉換器，具有二輸入端以與一輸入電壓之正、負端耦接，一電壓輸出端以提供一可變輸出電壓，一紅光同步信號輸出端以提供一紅光同步信號，一綠光同步信號輸出端以提供一綠光同步信號，以及一藍光同步信號輸出端以提供一藍光同步信號，其中，該可變輸出電壓在該紅光同步信號處於一作用電位時呈現一第一電壓，在該綠光同步信號或該藍光同步信號處於一作用電位時呈現一第二電壓；

【0012】 一RGB LED電路，具有一串紅光LED及與該串紅光LED串接之一第一開關、一串綠光LED及與該串綠光LED串接之一第二開關、一串藍光LED及與該串藍光LED串接之一第三開關、以及一定電流單元，其中，該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED均由該可變輸出電壓供電；該第一開關係由一第一驅動信號控制，該第二開關係由一第二驅動信號控制，該第三開關係由一第三驅動信號控制；該第一開關、該第二開關、及該第三開關均經由該定電流單元耦接至一參考地；且該定電流單元係用以提供一定電流，其中，流經該串紅光LED之一第一平均電流等於該第一驅動信號之一責任比乘以該定電流；流經該串綠光LED之一第二平均電流等於該第二驅動信號之一責任比乘以該定電流；以及流經該串藍光LED之一第三平均電流等於該第三驅動信號之一責任比乘以該定電流；

【0013】 一光感測器，係用以感測該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED的輸出光以提供一紅光感測信號、一綠光感測信號、及一藍光感測信號；以及

【0014】 一控制單元，儲存有一韌體程式，係用以執行一驅動信號產生程序以依序產生該第一驅動信號、該第二驅動信號、以及該第三驅動信號，其中，該驅動信號產生程序包括一比例-積分-微分運算且該驅動信號產生程序在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流都低於一門檻電流時係依一第一模式執行該比例-積分-微分運算，在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流中有至少一平均電流高於所述門檻電流時則依一第二模式執行該比例-積分-微分運算；

【0015】 其中，當該控制單元操作在所述第一模式時，該驅動信號產生程序係依序依一預設的紅光參考值和該紅光感測信號進行該比例-積分-微分運算、依一預設的綠光參考值和該綠光感測信號進行該比例-積分-微分運算、以及依一預設的藍光參考值和該藍光感測信號進行該比例-積分-微分運算；當該控制單元操作在所述第二模式時，該驅動信號產生程序係在所述門檻電流與該第一平均電流之比值、所述門檻電流與該第二平均電流之比值、及所述門檻電流與該第三平均電流之比值中找出一最小比值，將該最小比值乘上該預設的紅光參考值以獲致一修正的紅光參考值，將該最小比值乘上該預設的綠光參考值以獲致一修正的綠光參考值，將該最小比值乘上該預設的藍光參考值以獲致一修正的藍光參考值，以及依序依該修正的紅光參考值和該紅光感測信號進行該比例-積分-微分運算、依該修正的綠光參考值和該綠光感測信號進行該比例-積分-微分運算、以及依該修正的藍光參考值和該藍光感測信號進行該比例-積分-微分運算。

【0016】 在一實施例中，所述之植物工廠用之光配方驗證平台進一步具有一監控用資訊處理裝置，且該監控用資訊處理裝置係以一有線方式或一無線方式和該控制單元通信。

【0017】 在一實施例中，該電源轉換器係一LLC諧振電源轉換器。

【0018】 在一實施例中，該驅動信號產生程序包含一類比至數位轉換運算。

【0019】 在一實施例中，該驅動信號產生程序進一步包含一低通濾波運算。

【0020】 在一實施例中，該控制單元包含一驅動單元以提供該第一驅動信號、該第二驅動信號、以及該第三驅動信號。

【0021】 為使 貴審查委員能進一步瞭解本發明之結構、特徵及其目的，茲附以圖式及較佳具體實施例之詳細說明如后。

【圖式簡單說明】

【0022】

圖1繪示本發明之植物工廠用之光配方驗證平台之一實施例。

圖2所示為本發明所提出之一光波長直接回授控制系統方塊圖。

圖3繪示RGB LED與光二極體間之耦合關係。

圖4繪示本發明所採之一光波長補償控制方塊圖。

圖5(a)-5(b)所示為本發明所提出之二種操作模式之方塊圖。

圖6為本發明所提出之一控制方法之流程圖。

圖7(a)繪示本發明之可變輸出電壓和三個同步信號之波形。

圖7(b)繪示用以產生圖7(a)之可變輸出電壓和三個同步信號之一控制流程圖。

圖8繪示本發明所提出之一數位調光PWM控制流程。

圖9繪示依圖8之數位調光PWM控制流程所產生之一控制信號時序圖。

【實施方式】

【0023】 請參照圖1，其繪示本發明之植物工廠用之光配方驗證平台之一實施例。如圖1所示，該光配方驗證平台具有一電源轉換器100、一RGB LED電路110、一光感測器120、以及一控制單元130。

【0024】 電源轉換器100，可為一LLC諧振電源轉換器，具有二輸入端A、B以與一輸入電壓 V_{IN} 之正、負端耦接、一電壓輸出端C以提供一可變輸出電壓 V_o 、一紅光同步信號輸出端以提供一紅光同步信號 S_R 、一綠光同步信號輸出端以提供一綠光同步信號 S_G 、以及一藍光同步信號輸出端以提供一藍光同步信號 S_B ，其中，可變輸出電壓 V_o 在紅光同步信號 S_R 處於一作用電位時呈現一第一電壓(例

如但不限於48V)，在綠光同步信號 S_G 或藍光同步信號 S_B 處於一作用電位時呈現一第二電壓(例如但不限於72V)。

【0025】 RGB LED電路110具有一串紅光LED及與該串紅光LED串接之一第一開關、一串綠光LED及與該串綠光LED串接之一第二開關、一串藍光LED及與該串藍光LED串接之一第三開關、以及一定電流單元，其中，該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED均由該可變輸出電壓 V_o 供電；該第一開關係由一第一驅動信號 V_R 控制，該第二開關係由一第二驅動信號 V_G 控制，該第三開關係由一第三驅動信號 V_B 控制；該第一開關、該第二開關、及該第三開關均經由該定電流單元耦接至一參考地；且該定電流單元係用以提供一定電流 I_s ，其中，流經該串紅光LED之一第一平均電流等於第一驅動信號 V_R 之責任比(duty ratio)乘以定電流 I_s ；流經該串綠光LED之一第二平均電流等於第二驅動信號 V_G 之責任比乘以定電流 I_s ；以及流經該串藍光LED之一第三平均電流等於第三驅動信號 V_B 之責任比乘以定電流 I_s 。

【0026】 光感測器120係用以感測該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED的輸出光以提供一紅光感測信號 V_{RS} 、一綠光感測信號 V_{GS} 、及一藍光感測信號 V_{BS} 。

【0027】 控制單元130儲存有一韌體程式，係用以執行一驅動信號產生程序以依序產生該第一驅動信號 V_R 、該第二驅動信號 V_G 、以及該第三驅動信號 V_B ，其中，該驅動信號產生程序包括一比例-積分-微分運算且該驅動信號產生程序在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流都低於一門檻電流時係依一第一模式執行該比例-積分-微分運算，在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流中有至少一平均電流高於所述門檻電流時則依一第二模式執行該比例-積分-微分運算。

【0028】 在所述第一模式中，該驅動信號產生程序係依序依一預設的紅光參考值和該紅光感測信號 V_{RS} 進行該比例-積分-微分運算、依一預設的綠光參考值和該綠光感測信號 V_{GS} 進行該比例-積分-微分運算、以及依一預設的藍光參考值和該藍光感測信號 V_{BS} 進行該比例-積分-微分運算。

【0029】 在所述第二模式中，該驅動信號產生程序係在所述門檻電流與該第一平均電流之比值、所述門檻電流與該第二平均電流之比值、及所述門檻電流與該第三平均電流之比值中找出一最小比值，將該最小比值乘上該預設的紅光參考值以獲致一修正的紅光參考值，將該最小比值乘上該預設的綠光參考值以獲致一修正的綠光參考值，將該最小比值乘上該預設的藍光參考值以獲致一修正的藍光參考值，以及依序依該修正的紅光參考值和該紅光感測信號 V_{RS} 進行該比例-積分-微分運算、依該修正的綠光參考值和該綠光感測信號 V_{GS} 進行該比例-積分-微分運算、以及依該修正的藍光參考值和該藍光感測信號 V_{BS} 進行該比例-積分-微分運算。

【0030】 控制單元130的功能方塊包含一類比至數位轉換單元131、一低通濾波單元132、一模式決定單元133、一比例-積分-微分運算單元134、以及一驅動單元135。

【0031】 類比至數位轉換單元131係用以執行一類比至數位轉換運算；低通濾波單元132係用以對類比至數位轉換單元131之輸出執行一低通濾波運算；模式決定單元133係用以依所述門檻電流與該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流相比較以決定所述第一模式或所述第二模式；比例-積分-微分運算單元134係用以依所述第一模式或所述第二模式調整該第一驅動信號 V_R 、該第二驅動信號 V_G 、以及該第三驅動信號 V_B 延之責任週期；以及驅動單元135係用以提供該第一驅動信號 V_R 、該第二驅動信號 V_G 、及該第三驅動信號 V_B 。

【0032】 另外，控制單元130係藉由電源轉換器100所提供之紅光同步信號 S_R 、綠光同步信號 S_G 、以及藍光同步信號 S_B 決定第一驅動信號 V_R 、第二驅動信號 V_G 、以及第三驅動信號 V_B 之作用時間。

【0033】 另外，控制單元130可藉由有線(例如RS232)或無線(例如藍牙)的方式和一電腦200或一手機210通信以接受外部監控。

【0034】 依此，本發明即可提供一固定的色光配方以利一特定植物生長。

【0035】 以下將對本發明的原理做詳細說明。

【0036】 1.光波長對植物生理的影響

【0037】 人工光源的色溫與流明是以生物的眼睛所看到的，而植物對光的需求是行光合作用，這是不看色溫與流明而是以輻射值論定的。由植物生理學知不同植物對不同光譜的感知有很大差異，底下為不同光波長範圍對植物生理的影響整理：

【0038】 280~315nm：此波長範圍已屬紫外線光線，對於各類動、植物甚至於菌類生長，均有直接壓制性生長的功能，對形態與生理過程的影響極小。

【0039】 315~400nm：此波長範圍屬於遠紫外線光，雖無紫外線傷害植物，但對植物生長並無直接作用，葉綠素吸收少，影響光週期效應，阻止莖伸長。

【0040】 400~520nm (藍光)：此類波長可直接促使植物根、莖部位發展，對於葉綠素與類胡蘿蔔素吸收比例最大，對光合作用影響最大。

【0041】 520~610nm (綠光)：綠色性植物對綠光會有排斥性，綠色素的吸收率不高。

【0042】 610~720nm (紅光)：紅光對植物的葉綠素吸收率不高，但此波長對於光合作用與植物生長速度有顯著影響。

【0043】 720~1000nm：此類波長泛屬於紅外線波長，對於植物的吸收率低，但可直接刺激植物細胞，會影響開花與種子發芽時間。

【0044】 >1000nm：接近雷射光波長已轉換成為熱量。

【0045】 由以上不同光波長對植物生理影響的資料可知，不同波長的光線對於植物光合作用的影響是不同的。植物進行光合作用所需要的光線中，以400~520nm (藍)光線、以及610~720nm (紅)光對於光合作用貢獻最大，而520~610nm (綠)光線，對於促進植物生長的功效比率很低。也就是說400~520nm (藍光)及610~720nm (紅光)的光譜對植物有直接幫助生長的效果，所以學術概念下的植物生長燈大都是以紅藍組合、全藍、全紅三種形式，以提供紅藍兩種波長的光線，用來覆蓋植物行光合作用所需的波長範圍。一般白光LED其光譜能量分佈在445nm的藍色區和550nm的黃綠色區存在兩個峰值，而植物所需的610~720nm紅光則覆蓋的比較少，故無法對植物提供光合作用所需的光效能，這就為何在白光LED照射下，植物的生長速度及產量均不如一般戶外種植。

【0046】 植物生長燈的紅藍燈光譜比例一般在5：1～10：1之間為宜，通常可選7～9：1的比例，唯比例分配需採LED燈亮度比為混光依據，非採燈數量為混光依據。用LED植物生長燈於植物栽種時，一般距離葉片的高度為30-50公分左右，這中間尚需依實際種植植物的種類給予不同光強度，調整高度一般視為最簡便的亮度調整方式。在植物界中以綠色植物佔主導地位，在所有的光合放氧植物中，葉子中的葉綠素對太陽光有兩個吸收高峰，分別是440nm附近的藍光區和680nm附近的紅光區，而對於處在500-600nm之間的綠光吸收的很少，絕大部分綠光會被反射，所以我們看到的植物大部分是綠色。隨著LED照明技術的成熟，LED光源和波長可調的技術逐漸進入生物領域的照明。LED除了比傳統燈源節能，也使生物領域的照明成本大大降低。此外LED還可以實現對植物生長速度的控制，使花卉植物花期延長，使經濟作物可以不受季節限制，加速結果。例如，植物每天可進行16個小時的光合作用，但自然光照時間非常有限，使得植物生長緩慢。如果使用LED燈持續給植物補充光照，蔬菜成熟期即可縮短。

【0047】 2.光配方驗證平台系統

【0048】 圖1所示的光配方驗證系統架構主要是由高功因、高效率、低成本之電源轉換器、高功率RGB-LED燈串、PC或智慧型手機(內含無線通訊系統設定與監控之人機界面)、以及可進行波長回授補償之控制器所組成。電源轉換器可為具功率因數修正功能之LLC諧振轉換器以提升功率因數及大幅降低切換損和導通損失。又因為紅、藍、綠LED串之順向導通電壓不同，若用相同電壓供給並聯的RGB LED串，除會損壞LED外，還會在穩流控制電路產生大量的功耗，因此本發明提出以一動態匯流排電壓調控機制配合場色序驅動法，透過數位式PWM調控與一數位變電阻器(MCP4651)的使用，以精準的控制LLC諧振轉換器的輸出電壓，使其以R、G、B順序提供所需的電壓值。

【0049】 為找出並驗證何種照明光對特定植物生長最有幫助，可透過本發明的友善人機界面以有線或無線通訊方式控制該控制單元，即可輕鬆得到所要的色光以驗證該色光是否適合特定植物生長。另外，為解決LED隨著點燈時間與接面溫升所造成的老化之光衰，導致所設定光配方(波長、色溫(CCT)、和亮度)

變化而影響驗證光配方之正確性，本發明乃設置輸出光回授控制和光電訊號轉換機制。本發明之光配方設定與波長回授補償控制係利用光感測器(光二極體)來感測RGB三原色LED之混和輸出光量(與波長有關)，經微控制器(MCU)內之類比數位轉換器(ADC)數位化後，再經低通(low-pass filter)濾波器對PWM光電流作轉換並濾除高頻漣波以產生適合回授控制之電壓信號。接著經由光波長補償演算法計算出因老化所造成的LED光衰所需之新的三原色刺激(tristimulus values)參考值的修正補償量，最後經PID控制器計算出調控RGB-LED串PWM驅動電流所需之責任週期，使得有老化情況下之LED光輸出仍舊滿足所預設的光配方值。所提出之光配方設定與驗證系統具有架構簡單、高能源效率，色光容易設定，和自動光衰補償等優點。利用單組電源轉換器配合RGB時序輸出不同電壓來驅動RGB LED 串，因此驅動系統架構簡單，控制複雜度低，實現成本少。底下分別介紹系統之各組成單元。

【0050】 3.光波長補償調控方法

【0051】 如圖1之系統架構所示，本系統光配方設定與波長回授補償控制器利用光感測器(光二極體)來感測三原色LED之輸出光量(與波長有關)，經微控制器(MCU2)內之類比數位轉換器(ADC)數位化後，再經低通濾波以最小化感測誤差，接著經由光波長補償演算法(WCA)計算出因老化所造成的LED光衰所需之新的三原色刺激參考值的修正補償量，最後經PID控制器計算出調控RGB-LED串PWM驅動電流所需之責任週期，使得有老化情況下之LED光輸出仍舊符合所預設的光配方值。圖2所示為本發明所提出之一光波長直接回授控制系統方塊圖。在實現此回授控制時包含光感測器(光二極體)放置位置、輸出光取樣、驅動電流對光波長效應、調光與色光改變時控制系統之穩定度等許多議題需特別注意。也就是說必須精準的處理光、電信號的轉換，光感測器必須能精準地取樣到包含個別RGB-LED所發出的光之混合光，否則會影響混合後光波長之準確度。一般因回授電路的雜訊、溫度飄移、光二極體公差、和類比-數位轉換器(ADC)的量化誤差會造成光感測的誤差，而2.5%的光感測誤差量即可使人眼察覺到色點的偏移；另外PWM調光之責任比的解析度也會影響混光波長之準確度與色差

(color error) Δuv ，其中 Δuv 為在CIE 1960 UCS平面上，色點 (u, v) 偏離參考值 (u_r, v_r) 之色差量，可定義為

$$\text{【0052】} \quad \Delta uv = \sqrt{(u - u_r)^2 + (v - v_r)^2} \quad (1)$$

【0053】 在大的調光範圍需求時，至少須採用12-bit的調光解析度以避免出現可察覺的色差，否則會造成光色與亮度不穩定，另外PWM調光頻率也需適當選擇以免發生閃爍(flicker)現象。為精準的控制光配方，需有一有效的控制方法和控制器以調控RGB-LED之光輸出，及矯正LED因溫升和長時間照射老化而造成輸出光配方偏移之問題。圖2之控制器設計可以包含光和電系統部分之轉移函數來進行，因利用三種LED來混合出所需的光配方，故其為多輸入多輸出(MIMO)的系統，且在系統模型內需處理光、電信號轉換。底下利用光、電組合之模型來推導RGB-LED燈和光感測系統之轉移函數 $G_{LED}(s)$ 和 $G_{pd}(s)$ 。

【0054】 3-1 RGB-LED燈之轉移函數

【0055】 本發明利用計算來自混光輸出頻譜之三原色刺激值回授控制法，來保持與驗證植物生長期間所要之光配方，其係透過光二極體與濾波器整合之光感測器來偵測混合光之三原色刺激值後，與透過人機界面輸入之預設光配方(三原色刺激參考值)相比，所得的光波長誤差量經PID控制器計算後，再據以產生更新LED驅動電流之PWM訊號。在圖2中，其輸出混光之三原色刺激值 (V_x, V_y, V_z) 為混光頻譜 $P(\lambda, s)$ 的函數，代表人眼所看到的光之顏色和亮度， (V_x, V_y, V_z) 為受控目標參數，而 $(V_{xref}, V_{yref}, V_{zref})$ 為由人機界面輸入之光配方設定值經轉換計算後之系統參考值。RGB-LED燈與光二極體之間的光耦合可用如三原色刺激值、光通量(optical flux)、和頻譜功率密度(spectral power density, SPD)等參數來模型化。又因光二極體的光電流輸出與RGB-LED混光輸出的每個波長之輻射(radiated)功率(W/nm)有關，故僅有SPD可直接提供連結RGB-LED輸出光和光二極體之間的耦合關係。因此如圖3所示，於光二極體的頻譜響應區域內對RGB-LED光輸出之頻譜功率密度濾波與積分後，可得到光輸出電流。一般LED響應時間約為100ns且其動態可以忽略，因此可以假設RGB-LED光輸出只隨著PWM波寬變化；另外LED特性隨著時間和溫度變化的速度比光引擎的次系統之動態響應慢很

多，因此此變動可以忽略，並以一線性非時變的模型來模式化RGB-LED燈。假設可以完美混光，則RGB-LED燈的SPD $p(\lambda)$ 可以380nm~730nm波長範圍之可見光表示為

$$\text{【0056】} \quad P(\lambda, s) = \sum_{i=R,G,B} p_i(\lambda) \cdot I_i(s) \quad (2)$$

【0057】 一部分的RGB-LED光會耦合到光二極體，如圖2中之 $C_{xyz}(s)$ 所示。因光二極體的響應速度很快，因此有光照瞬間就有光電流輸出。三個光二極體之輸出電流可表示為

$$\text{【0058】} \quad \begin{cases} I_{pdX}(s) = \int_{380nm}^{720nm} p_X(\lambda) \cdot \left(\sum_{i=R,G,B} p_i(\lambda) \cdot I_i(s) \cdot C_{Xi} \right) \cdot d\lambda \\ I_{pdY}(s) = \int_{380nm}^{720nm} p_Y(\lambda) \cdot \left(\sum_{i=R,G,B} p_i(\lambda) \cdot I_i(s) \cdot C_{Yi} \right) \cdot d\lambda \\ I_{pdZ}(s) = \int_{380nm}^{720nm} p_Z(\lambda) \cdot \left(\sum_{i=R,G,B} p_i(\lambda) \cdot I_i(s) \cdot C_{Zi} \right) \cdot d\lambda \end{cases} \quad (3)$$

【0059】 其中 $p_X(\lambda)$ 、 $p_Y(\lambda)$ 、 $p_Z(\lambda)$ 為光二極體之頻譜響應， C_{Xi} 、 C_{Yi} 、 C_{Zi} 為RGB-LED光耦合到光二極體部份之耦合係數。(3)式可改寫成矩陣型式為

$$\text{【0060】} \quad \begin{bmatrix} I_{pdX}(s) \\ I_{pdY}(s) \\ I_{pdZ}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_R(s) \\ I_G(s) \\ I_B(s) \end{bmatrix} \quad (4)$$

【0061】 其中 k_{ij} ($i=1\sim3, j=1\sim3$)為直流增益，定義為

$$k_{11} = \int_{380nm}^{720nm} p_X(\lambda) \cdot p_R(\lambda) \cdot C_{XR} d\lambda, \quad k_{12} = \int_{380nm}^{720nm} p_X(\lambda) \cdot p_G(\lambda) \cdot C_{XG} d\lambda, \\ k_{13} = \int_{380nm}^{720nm} p_X(\lambda) \cdot p_B(\lambda) \cdot C_{XB} d\lambda \circ$$

【0062】 k_{21} 到 k_{33} 有類似的定義。由第(4)式可得到代表光電流與RGB-LED順向電流間之轉移函數，可表示為

$$\text{【0063】} \quad \frac{I_{pd}(s)}{I_{RGB}(s)} = G_{pd}(s) \cdot G_{LED}(s) = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

【0064】 低通濾波器為一階系統，可表示為

$$\text{【0065】 } G_{LP}(s) = \begin{bmatrix} \frac{R_{cx}}{1+s\tau_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R_{cy}}{1+s\tau_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R_{cz}}{1+s\tau_z} \end{bmatrix} \quad (6)$$

【0066】 其中 R_{cx} 、 R_{cy} 、 R_{cz} 為電流感測電阻，而 τ_x 、 τ_y 、 τ_z 為時間常數， $\tau_i = R_{ci}C$ ， $i = x, y, z$ ， C 為濾波電容。則三原色刺激值(V_{xyz})與RGB-LED順向電流間之轉移函數可求得為

$$\text{【0067】 } \frac{V_{xyz}(s)}{I_{RGB}(s)} = G_{LP}(s)G_{pd}(s)G_{LED}(s) = \begin{bmatrix} \frac{k_{11}R_x}{1+s\tau_x} & \frac{k_{12}R_x}{1+s\tau_x} & \frac{k_{13}R_x}{1+s\tau_x} \\ \frac{k_{21}R_y}{1+s\tau_y} & \frac{k_{22}R_y}{1+s\tau_y} & \frac{k_{23}R_y}{1+s\tau_y} \\ \frac{k_{31}R_z}{1+s\tau_z} & \frac{k_{32}R_z}{1+s\tau_z} & \frac{k_{33}R_z}{1+s\tau_z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+s\tau_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1+s\tau_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1+s\tau_z} \end{bmatrix} \cdot [K_{dc}]$$

(7)

$$\text{【0068】 } \text{其中 } K_{dc} = \begin{bmatrix} k_{11}R_x & k_{12}R_x & k_{13}R_x \\ k_{21}R_y & k_{22}R_y & k_{23}R_y \\ k_{31}R_z & k_{32}R_z & k_{33}R_z \end{bmatrix} \text{。係數 } K_{dc} \text{ 為直流增益，它們可以方}$$

程式(8)利用實驗方式求得。

$$\text{【0069】 } K_{dc} = \begin{bmatrix} \left. \frac{V_x}{I_R} \right|_{I_G=I_B=0} & \left. \frac{V_x}{I_G} \right|_{I_R=I_B=0} & \left. \frac{V_x}{I_B} \right|_{I_G=I_R=0} \\ \left. \frac{V_y}{I_R} \right|_{I_G=I_B=0} & \left. \frac{V_y}{I_G} \right|_{I_R=I_B=0} & \left. \frac{V_y}{I_B} \right|_{I_G=I_R=0} \\ \left. \frac{V_z}{I_R} \right|_{I_G=I_B=0} & \left. \frac{V_z}{I_G} \right|_{I_R=I_B=0} & \left. \frac{V_z}{I_B} \right|_{I_G=I_R=0} \end{bmatrix} \quad (8)$$

【0070】 3-2 波長補償控制演算法

一般LED之輸出光度會隨著老化而降低，傳統控制方法為維持混光後總輸出光度於一定值，會隨著老化增加而增加各原色LED之平均驅動電流，此將導致LED接面溫升增加且平均驅動電流到達其上限之飽和值而無法再調控之風險。當一個或多個原色LED之平均驅動電流到達其飽和值，回授系統會變成開迴路而無法再

調控其原色LED之光輸出量。當老化使LED光衰愈嚴重時，將使得混光後之總輸出光之色點(color point)偏離原本預設值。為維持光配方之精確度，本發明提出一新的動態三原色刺激參考值(tristimulus reference values, TRV)調變之光波長補償控制方法以防止LED驅動電流飽和，圖4所示為其控制方塊圖。所提的方法有兩種操作模式。當三原色LED平均驅動電流均低於一門檻(threshold)電流值 I_{th} 時，責任比更新計算(duty update ratio, DUR)單元根據所對應的責任比 $D_i (= I_{avg}/I_{pk}) < D_{crit} (= I_{th}/I_{pk})$ 之關係(其中 $i=X, Y, Z$ ， I_{avg} 和 I_{pk} 為LED平均驅動電流和最大電流， D_{crit} 為門檻責任比)，令開關 S_{DUR} 截止，系統操作於模式I， $DUR=1$ ， $XYZ'_{ref} = XYZ_{ref}$ ，此模式以一般PID控制方式來調控三原色LED之總輸出光量，使色點 (x, y, z) 保持於所要的設定值，而此色點值可表示為

$$\text{【0071】} \quad x = \frac{X_{ref}}{X_{ref} + Y_{ref} + Z_{ref}}, \quad y = \frac{Y_{ref}}{X_{ref} + Y_{ref} + Z_{ref}}, \quad z = 1 - x - y \quad (9)$$

【0072】 其中 X_{ref} ， Y_{ref} ， Z_{ref} 為對應於該光輸出量之三原色刺激參考值。

【0073】 當三原色LED中有平均驅動電流高於門檻電流值($D_i \geq D_{crit}$)時，DUR單元令開關 S_{DUR} 導通，系統操作於模式II。此模式又分兩種情況：情況 1) 三原色中只有一個LED平均驅動電流高於門檻電流值，則此LED的刺激參考值會被減少，以使其平均驅動電流能維持在門檻電流值內；情況 2) 三原色中有二個或三個LED平均驅動電流高於門檻電流值，則出現最大光輸出量衰減且其平均驅動電流超出門檻電流值最多的LED之刺激參考值需被減少，以使其平均驅動電流能維持在門檻電流值內，而其他兩原色之刺激參考值也需作等比例調整，以維持混光色點保持在所要的值。因為PWM驅動的LED之光輸出量和其責任週期成正比，當LED老化後，假設紅色LED迴路之所產生之激勵值 X 增加使得其平均驅動電流(I_{avg-R})增加超過門檻電流(I_{th})，為使 I_{avg-R} 回到 I_{th} ，DUR單元會計算出一新的 X 刺激參考值 x'_{ref} 來作修正，而為保持總混光色點和波長不變， Y 和 Z 的刺激參考值也需作等比例調整，故可表示為

$$\text{【0074】} \quad X'_{ref} = \left(\frac{D_{crit}}{D_x} \right) X_{ref}, \quad Y'_{ref} = \left(\frac{X'_{ref}}{X_{ref}} \right) Y_{ref} = \left(\frac{D_{crit}}{D_x} \right) Y_{ref}, \quad Z'_{ref} = \left(\frac{X'_{ref}}{X_{ref}} \right) Z_{ref} = \left(\frac{D_{crit}}{D_x} \right) Z_{ref} \quad (10)$$

【0075】 而此修正後之色點值可表示為

$$x = \frac{X'_{ref}}{X'_{ref} + Y'_{ref} + Z'_{ref}} = \frac{\left(\frac{D_{crit}}{D_x}\right) X_{ref}}{\left(\frac{D_{crit}}{D_x}\right) X_{ref} + \left(\frac{D_{crit}}{D_y}\right) Y_{ref} + \left(\frac{D_{crit}}{D_z}\right) Z_{ref}} = \frac{X_{ref}}{X_{ref} + Y_{ref} + Z_{ref}}$$

$$y = \frac{Y'_{ref}}{X'_{ref} + Y'_{ref} + Z'_{ref}} = \frac{\left(\frac{D_{crit}}{D_y}\right) Y_{ref}}{\left(\frac{D_{crit}}{D_x}\right) X_{ref} + \left(\frac{D_{crit}}{D_y}\right) Y_{ref} + \left(\frac{D_{crit}}{D_z}\right) Z_{ref}} = \frac{Y_{ref}}{X_{ref} + Y_{ref} + Z_{ref}}$$

$$z = 1 - x - y$$

(11)

【0077】 可以看出其總輸出光之色點值仍舊維持和修正前一樣。另一方面，當有兩個以上電流超過門檻電流值，則DUR單元會找出最小的責任週期更新比，然後以此比率(DUR)為基準來調整三原色刺激參考值，此機制可以數學式表示為

$$\begin{aligned} \text{【0078】} \quad DUR &= \text{Min} \left\{ \frac{D_{crit}}{D_x}, \frac{D_{crit}}{D_y}, \frac{D_{crit}}{D_z} \right\} \\ X'_{ref} &= DUR \cdot X_{ref}, Y'_{ref} = DUR \cdot Y_{ref}, Z'_{ref} = DUR \cdot Z_{ref} \end{aligned} \quad (12)$$

【0079】 圖5(a)-5(b)所示為新的動態三原色刺激參考值調變之光波長補償控制方法之操作模式方塊圖，而圖6為本發明所採之一控制方法之流程圖。系統初始化後，本發明即感測LED電流和輸出光量，利用PID控制器來調控RGB LED之光配方(色點)，加入週期性PWM責任週期檢查點以定期檢查LED之老化情況，當 $D_i \geq D_{crit}$ ，系統進入模式II操作，接著計算找出最小的責任週期更新比($DUR = \text{Min}[D_{crit}/D_i], i = X, Y, Z$)，且根據(10)或(12)來更新三刺激參考值，接著利用(13)式更新 D_{crit} 後，回到PID控制器以根據新的三刺激參考值調控波長。一般 D_{crit} 設定為定值，但由於RGB LED之老化速度不同，故不容易找出一同時適合於三種LED之 D_{crit} 值。若設定 D_{crit} 值遠小於1，則系統會一直操作於模式II，而使得LED之總光輸出量減少；另一方面，若設定 D_{crit} 值很接近於1，則PWM的值比將很快到達1(飽和電流值)，而使得色點無法控制。因此，本發明之控制方法在每次操控時會根據每種LED之責任比的變化來計算一新的 D'_{crit} 值以取代固定的 D_{crit} 之設定方式， D'_{crit} 可表示為

$$\text{【0080】} \quad D'_{mit} = 1 - \alpha \times (D_i - D_{mit}), i = X, Y, Z \quad (13)$$

【0081】 為增加可控性，(13)式中包含一邊限(margin)值 α (≥ 1)，即可將兩個定期檢查點之間的老化速率變動量考慮進來，使得控制演算法可以適應性地學習個別RGB-LED的老化速率，並可精準地設定個別的 D_{mit} 值。

【0082】 3-4 RGB LED動態供電電壓控制與數位調光控制程序

【0083】 如圖7(a)所示，為達到場色序法驅動RGB LED之目的，本數位控制須依照不同顏色之LED順向導通電壓特性產生48V與72V兩種變動之輸出電壓命令，並提供場色序同步信號(Seq_R, Seq_G, Seq_B)以同步控制穩流調光電路。圖7(b)為系統程式控制流程圖，其先判斷系統是否處於LED導通區間。所規劃的R、G、B LED導通時間皆為5.22 ms，在每1/3導通區間有一個RGB LED皆不導通之轉換時間0.33 ms，在此區間內改變轉換器輸出電壓，因此RGB輪流導通一次頻率為60Hz。確定計時器時間後，若為LED導通區間則判斷此時為紅光或綠光或藍光LED導通，並送出場色序命令至穩流調光電路。而在電壓轉換區間則將輸出電壓命令透過I²C傳送至數位變電阻器，以變更回授電壓，達到動態調整輸出供電電壓之功能。

【0084】 圖8繪示本發明所採之一數位調光PWM控制流程，其係利用電腦端以LabVIEW撰寫之人機介面或智慧型手機之App送出四區域12組PWM調光命令(每區域3組R、G、B分量調光信號)，並同步溝通控制LLC諧振轉換器之微處理器送出之場色序控制信號完成調光控制。為避免具有不同順向導通電壓之LED同時導通造成多餘功率損失，因此在切換不同色彩之LED導通時在中間加上一個轉態區間(0.33ms)，在此區間中無LED導通，而利用操作模式變換改變輸出電壓達到所需命令電壓值。所使用數位調光控制器之時脈為數位驅動電源之同步頻率，而預設調光控制信號為具有8位元解析度且頻率為180Hz之PWM信號。轉態區間設定為0.33 ms，一個鋸齒波時間為5.22 ms，因此輸出R、G、B切換頻率為180 Hz。調光信號產生乃是由LabVIEW人機控制面板或智慧型手機之App透過RS232串列傳輸介面送出12組8位元PWM調光命令(0~255)，並由撰寫於串列傳輸接收程式將所接收到之調光命令依序儲存於調光命令向量中，如圖8所示。由於R、G、

B LED需要分時導通，因此由數位電源控制核心送出場色序同步控制信號(Seq_R、Seq_G、Seq_B)致能各組鋸齒波與比較器之輸出。當比較器接收到致能信號時，便會將調光命令向量值(CMD_R、CMD_G、CMD_B)與計數器中計數值(SAW_R、SAW_G、SAW_B)比較，當調光命令向量值大於計數值輸出為”高電位”，反之則為”低電位”。以此方式分別產生四區域共12組PWM調光控制信號，其時序圖如圖9所示。

【0085】 本案所揭示者，乃較佳實施例，舉凡局部之變更或修飾而源於本案之技術思想而為熟習該項技藝之人所易於推知者，俱不脫本案之專利權範疇。

【0086】 綜上所陳，本案無論就目的、手段與功效，在在顯示其迥異於習知之技術特徵，且其首先發明合於實用，亦在在符合發明之專利要件，懇請 貴審查委員明察，並祈早日賜予專利，俾嘉惠社會，實感德便。

【符號說明】

【0087】

電源轉換器100

RGB LED電路110

光感測器120

控制單元130

類比至數位轉換單元131

低通濾波單元132

模式決定單元133

比例-積分-微分運算單元134

驅動單元135

電腦200

手機210

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種植物工廠用之光配方驗證平台，其具有：

一電源轉換器，具有二輸入端以與一輸入電壓之正、負端耦接，一電壓輸出端以提供一可變輸出電壓，一紅光同步信號輸出端以提供一紅光同步信號，一綠光同步信號輸出端以提供一綠光同步信號，以及一藍光同步信號輸出端以提供一藍光同步信號，其中，該可變輸出電壓在該紅光同步信號處於一作用電位時呈現一第一電壓，在該綠光同步信號或該藍光同步信號處於一作用電位時呈現一第二電壓；

一RGB LED電路，具有一串紅光LED及與該串紅光LED串接之一第一開關、一串綠光LED及與該串綠光LED串接之一第二開關、一串藍光LED及與該串藍光LED串接之一第三開關、以及一定電流單元，其中，該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED均由該可變輸出電壓供電；該第一開關係由一第一驅動信號控制，該第二開關係由一第二驅動信號控制，該第三開關係由一第三驅動信號控制；該第一開關、該第二開關、及該第三開關均經由該定電流單元耦接至一參考地；且該定電流單元係用以提供一定電流，其中，流經該串紅光LED之一第一平均電流等於該第一驅動信號之一責任比乘以該定電流；流經該串綠光LED之一第二平均電流等於該第二驅動信號之一責任比乘以該定電流；以及流經該串藍光LED之一第三平均電流等於該第三驅動信號之一責任比乘以該定電流；

一光感測器，係用以感測該串紅光LED、該串綠光LED、及該串藍光LED的輸出光以提供一紅光感測信號、一綠光感測信號、及一藍光感測信號；以及

一控制單元，儲存有一韌體程式，係用以執行一驅動信號產生程序以依序產生該第一驅動信號、該第二驅動信號、以及該第三驅動信號，其中，該驅動信號產生程序包括一比例-積分-微分運算且該驅動信號產生程序在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流都低於一門檻電流時係依一第一模式執行該比例-積分-微分運算，在該第一平均電流、該第二平均電流、及該第三平均電流中有至少一平均電流高於所述門檻電流時則依一第二模式執行該比例-積分-微分運算；

其中，當該控制單元操作在所述第一模式時，該驅動信號產生程序係依序依一預設的紅光參考值和該紅光感測信號進行該比例-積分-微分運算、依一預設的綠光參考值和該綠光感測信號進行該比例-積分-微分運算、以及依一預設的藍光參考值和該藍光感測信號進行該比例-積分-微分運算；當該控制單元操作在所述第二模式時，該驅動信號產生程序係在所述門檻電流與該第一平均電流之比值、所述門檻電流與該第二平均電流之比值、及所述門檻電流與該第三平均電流之比值中找出一最小比值，將該最小比值乘上該預設的紅光參考值以獲致一修正的紅光參考值，將該最小比值乘上該預設的綠光參考值以獲致一修正的綠光參考值，將該最小比值乘上該預設的藍光參考值以獲致一修正的藍光參考值，以及依序依該修正的紅光參考值和該紅光感測信號進行該比例-積分-微分運算、依該修正的綠光參考值和該綠光感測信號進行該比例-積分-微分運算、以及依該修正的藍光參考值和該藍光感測信號進行該比例-積分-微分運算。

【第2項】如申請專利範圍第1項所述之植物工廠用之光配方驗證平台，其進一步具有一監控用資訊處理裝置，且該監控用資訊處理裝置係以一有線方式或一無線方式和該控制單元通信。

【第3項】如申請專利範圍第1項所述之植物工廠用之光配方驗證平台，其中該電源轉換器係一LLC諧振電源轉換器。

【第4項】如申請專利範圍第1項所述之植物工廠用之光配方驗證平台，其中該驅動信號產生程序包含一類比至數位轉換運算。

【第5項】如申請專利範圍第4項所述之植物工廠用之光配方驗證平台，其中該驅動信號產生程序進一步包含一低通濾波運算。

【第6項】如申請專利範圍第1項所述之植物工廠用之光配方驗證平台，其中該控制單元包含一驅動單元以提供該第一驅動信號、該第二驅動信號、以及該第三驅動信號。

【發明圖式】

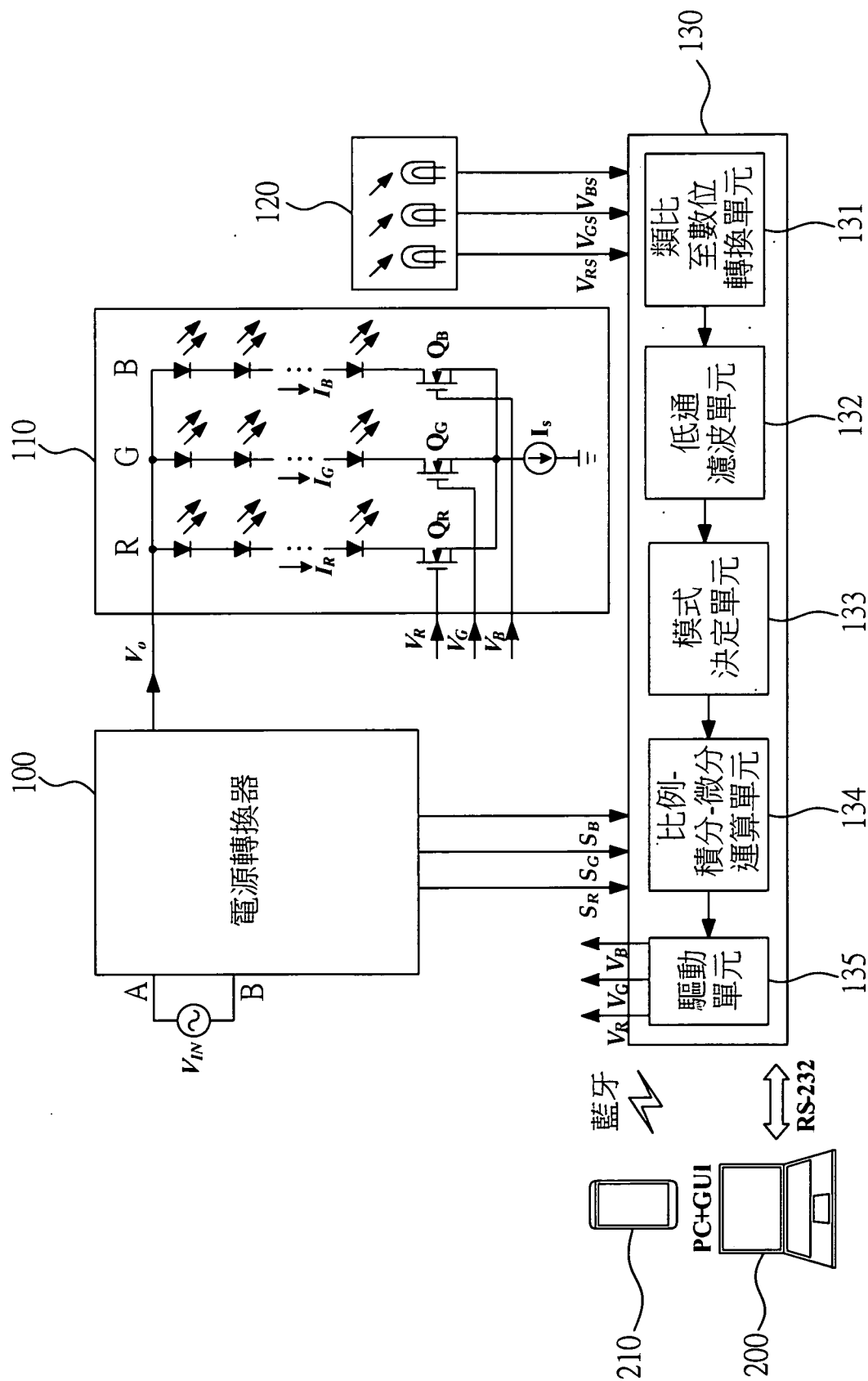


圖 1

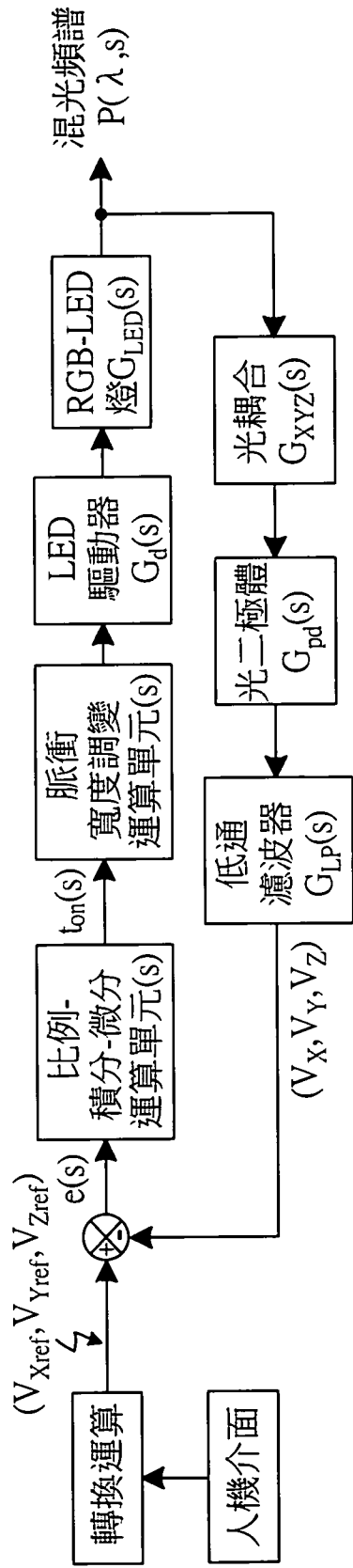


圖 2

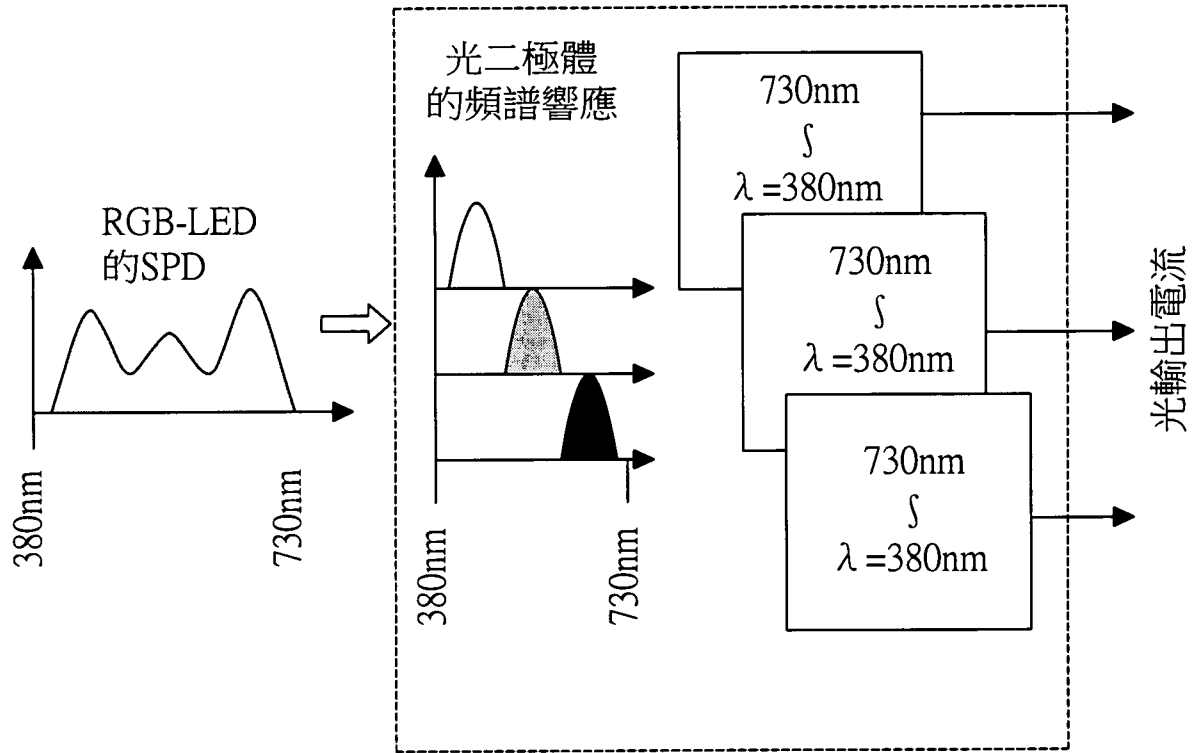


圖 3

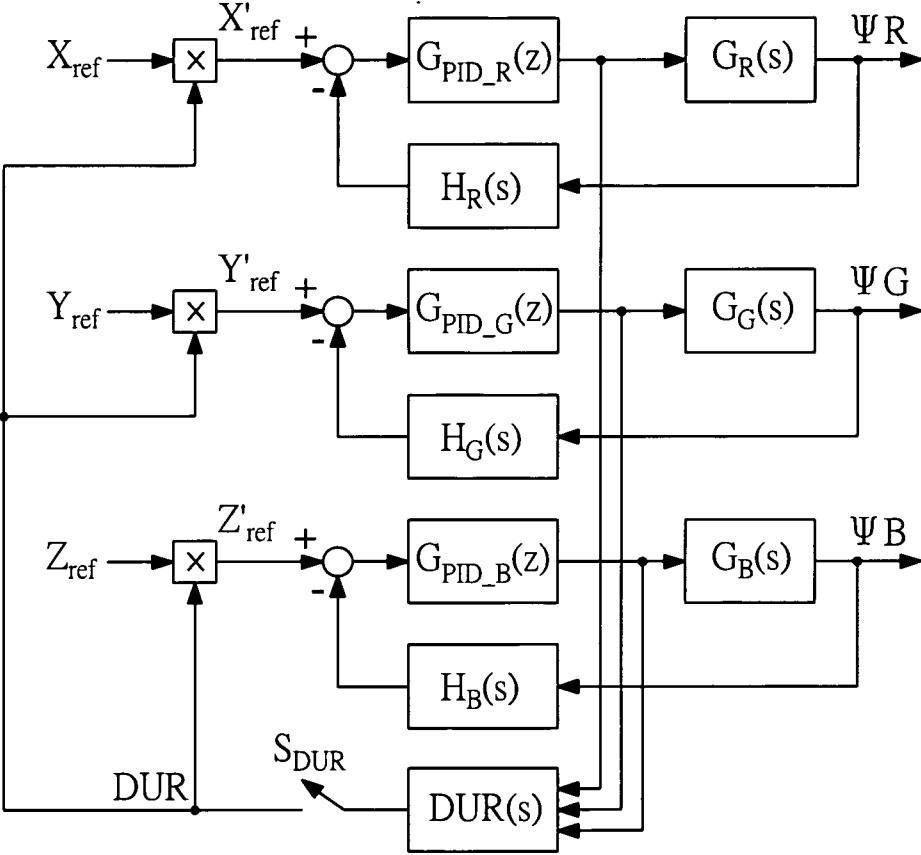


圖 4

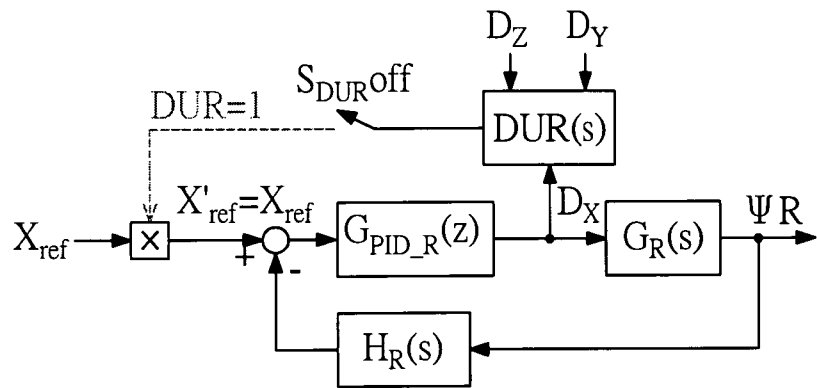


圖 5(a)

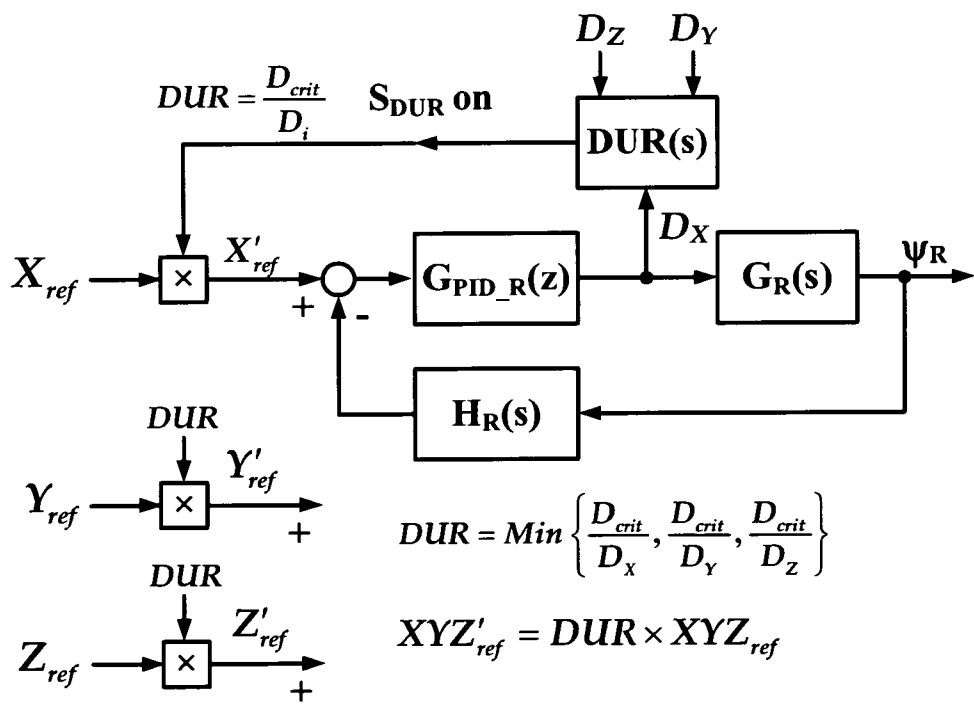


圖 5(b)

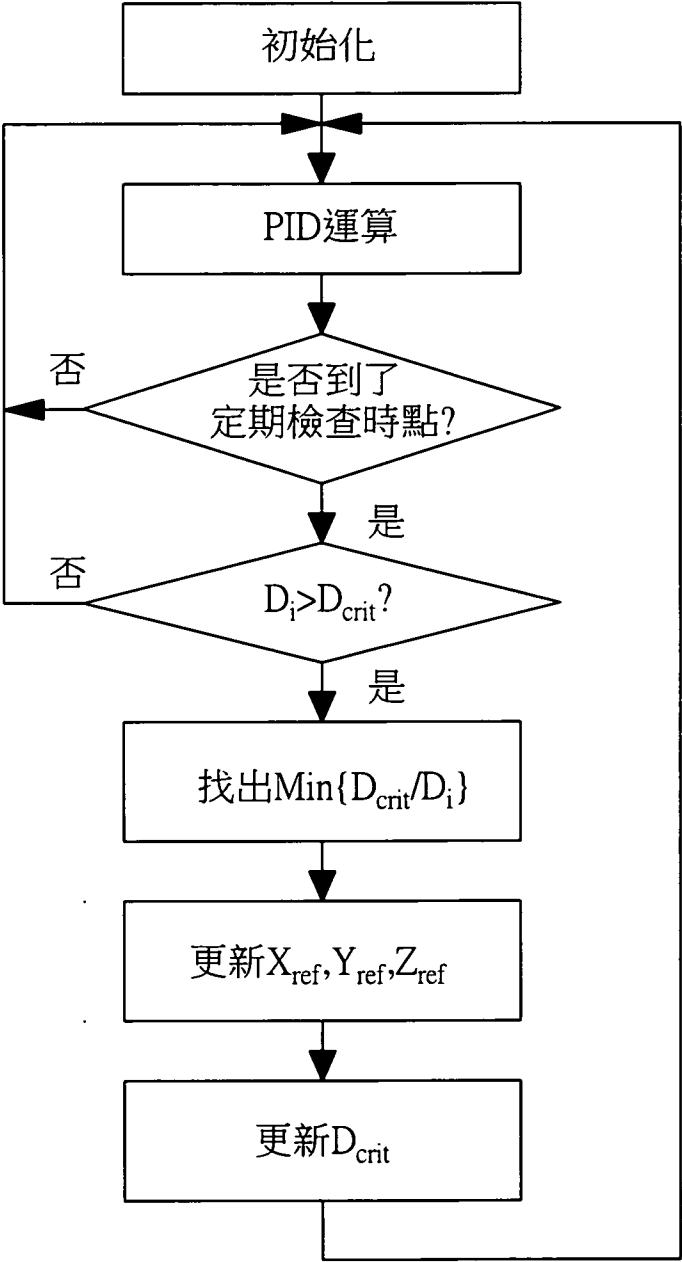


圖 6

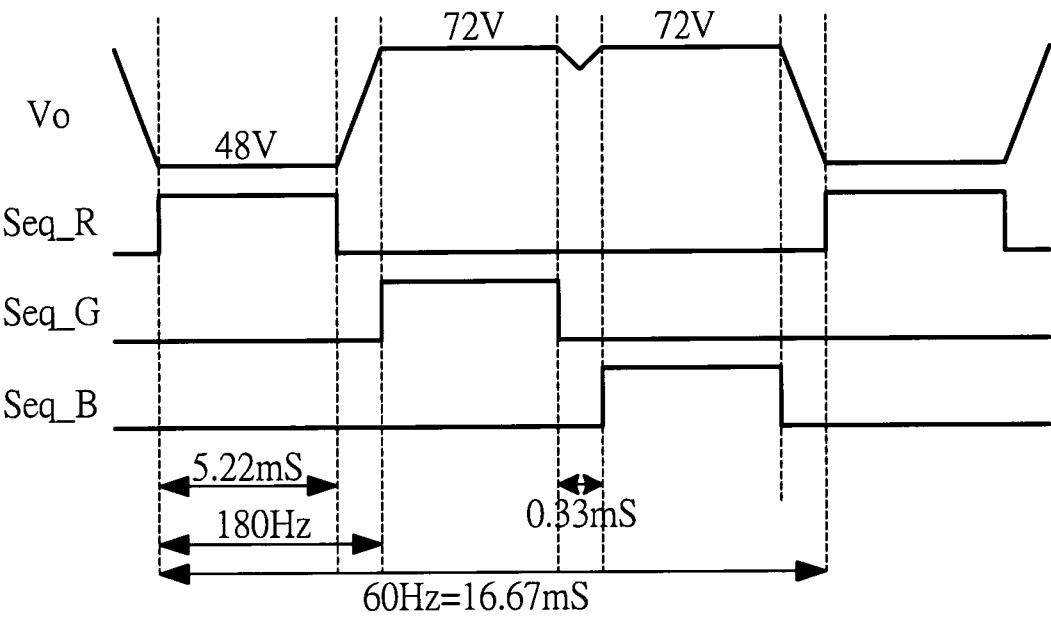


圖 7(a)

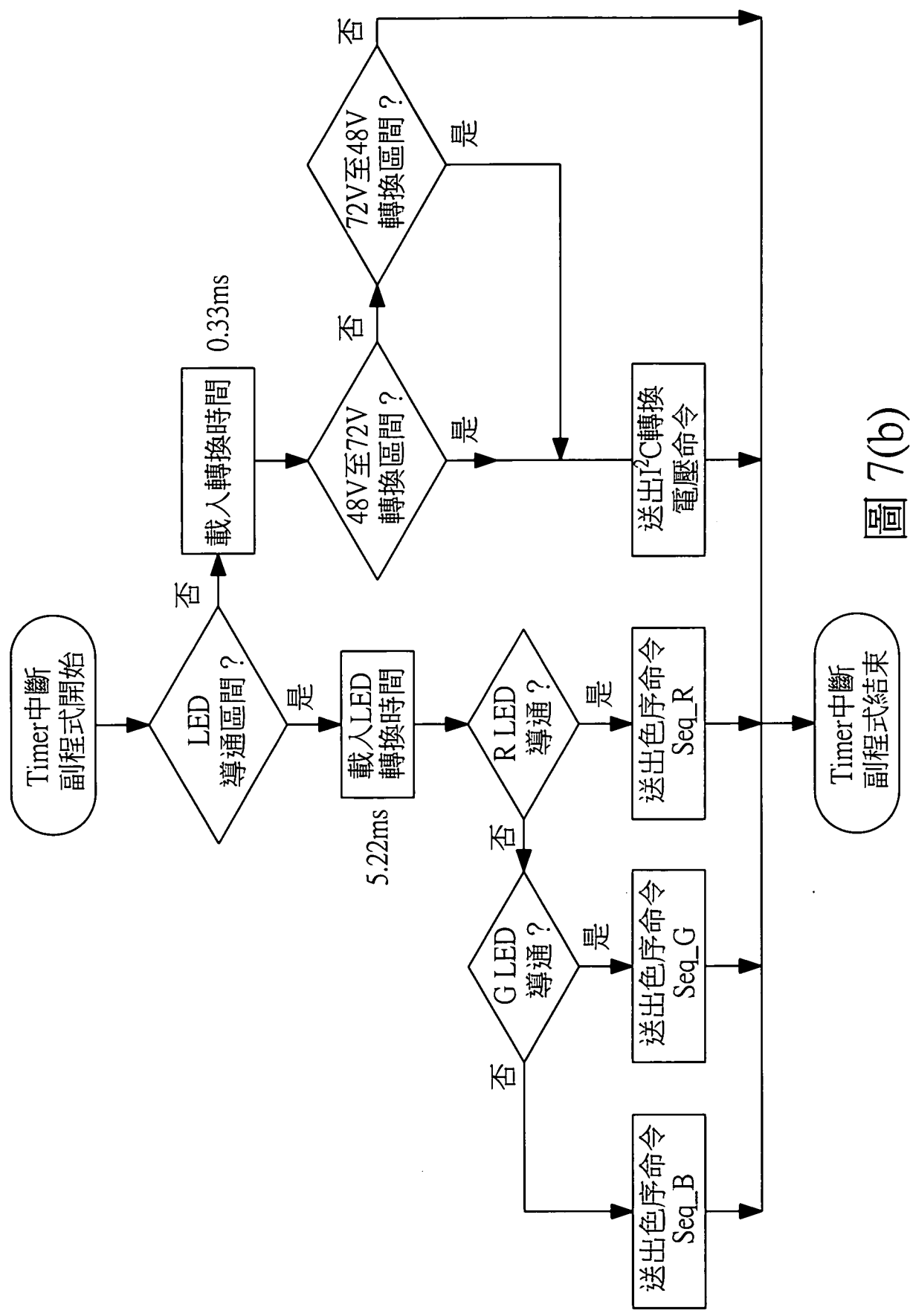


圖 7(b)

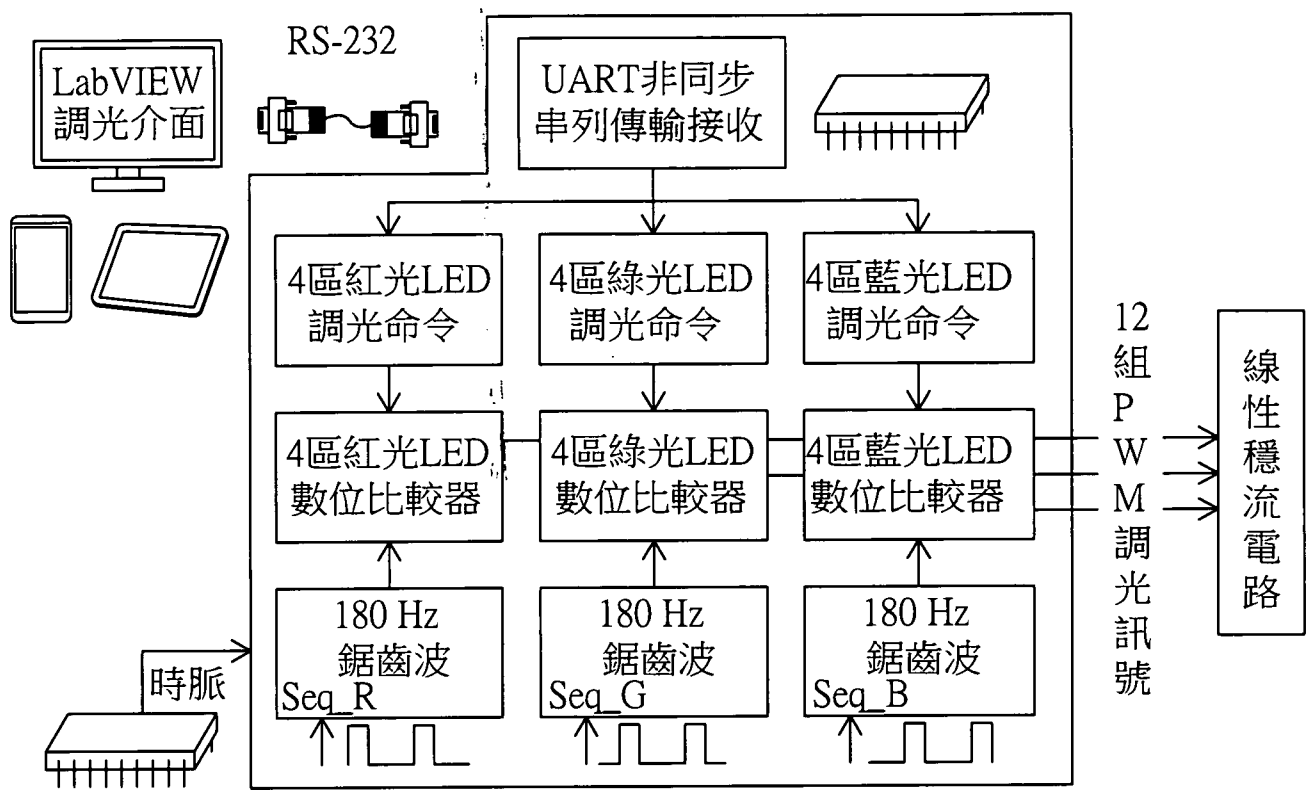


圖 8

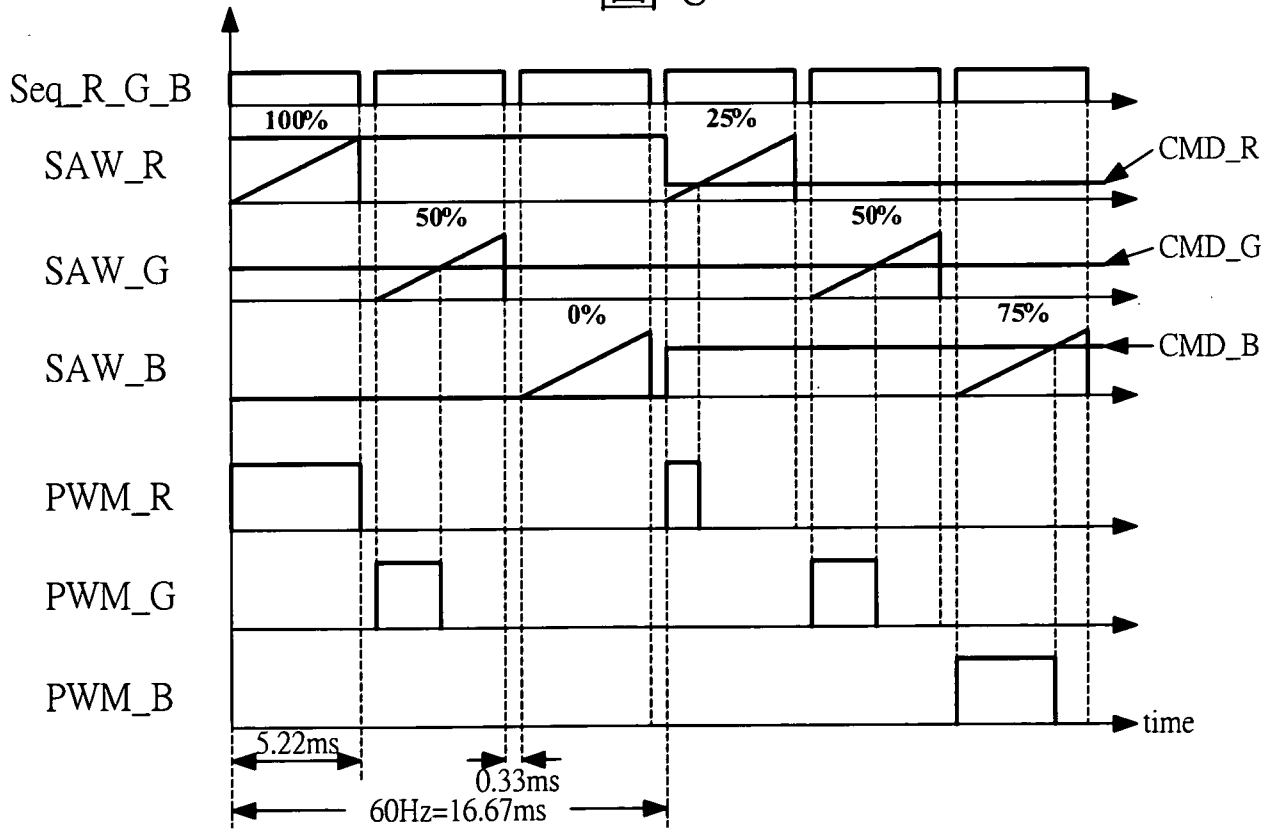


圖 9