

如何使用3340G / 33430G系列 LED直流電子模擬負載來測試LED Driver



因應全球節能省碳的趨勢，LED照明應用已經廣泛使用於消費性產品（如LED TV、手機、手電筒等），家庭的LED照明燈具（取代白熾燈泡、省電燈泡等），汽車（LED頭燈、方向燈、煞車燈、車內燈、霧燈、儀表燈等），公共建設（LED路燈、交通號誌燈等）等應用，辦公室的LED照明燈具（取代日光燈）。原本是局限於特定的應用，如今是全面為市場所採納，市場的擴大吸引眾多投資者的投入，如何在眾多競爭者中脫穎而出，除了LED本身的價格和品質外，另外配套的週邊材料中就屬LED驅動電源最為重要。

由於LED為電流驅動元件，實際應用時為達到所需的流明數，需要將數個至數十個LED串接或併聯組合而成，同時需要驅動電源將市電轉換成LED所需的直流電流電源，做為一個供電電源，效率為重要的參數，LED所需的直流電流電源絕大部份為LED發光之用，本身耗能極少，效率高代表能減少LED燈具的散熱材料，同時也可延長其使用壽命。效率的提昇是各家LED驅動電源廠努力的目標，目前有往更高電壓的方向走的趨勢，相同功率下，高電壓則會是低電流，除了可以提高效率外，同時也可節省使用銅材料的成本。除此之外，為了更進一步節省電能，以及對應周圍環境及情境，對LED燈具做適當的調光便能達成節能的要求，因此LED驅動電源除了提供穩定的電流源外，也要能夠滿足調光所需的控制。

幾乎所有之Power Supply廠都在研發新的定電流式LED 驅動電源，迎接照明之巨大市場，當LED價格降低後很快會取代燈管及燈泡，市場未來發展會迅速擴大。

LED 驅動電源輸出為定電流，其輸出電壓是依據LED之等效電壓Vd及等效電阻Rd，不像傳統的電源供應器，其輸出是固定電壓，因此需要使用LED模擬負載來快速模擬與驗證，減少開發時程，快速上市。

博計電子推出3340G / 33430G系列LED可調光直流電子負載，包括3341G (300V, 24A, 300W)、3342G (500V, 12A, 300W)、3343G (500V, 24A, 300W)、33401G (500V, 6A, 150Wx2)、33431G (600V, 12A, 1800W)、33432G (600V, 24A, 3600W)，針對LED 驅動電源的測試與驗證時能夠模擬真實的LED特性，只要輸入LED的參數(包括Vd導通電壓、Rd串聯電阻、Vo輸出電壓等)即可，不再需要將實際的LED連接起來做為LED 驅動電源的負載，甚至只要改變所輸入LED的參數即可模擬不同LED數目、規格、廠牌的變化。同時具備調光所需的信號源，包括0至12V的Analog電壓，或0至1kHz, 0至100% duty cycle的控制信號是測試驗證LED驅動電源的最佳利器。

3340G 系列 LED mode 直流電子負載模組

3341G 300V, 24A, 300W

3342G 500V, 12A, 300W (可選配600V規格)

3343G 500V, 24A, 300W (可選配600V規格)

33401G 500V, 6A, 150Wx2 (可選配600V規格)



3342G 300W LED電子負載模組 + 3302F單模組機框

33430G 系列 LED 高功率直流電子負載

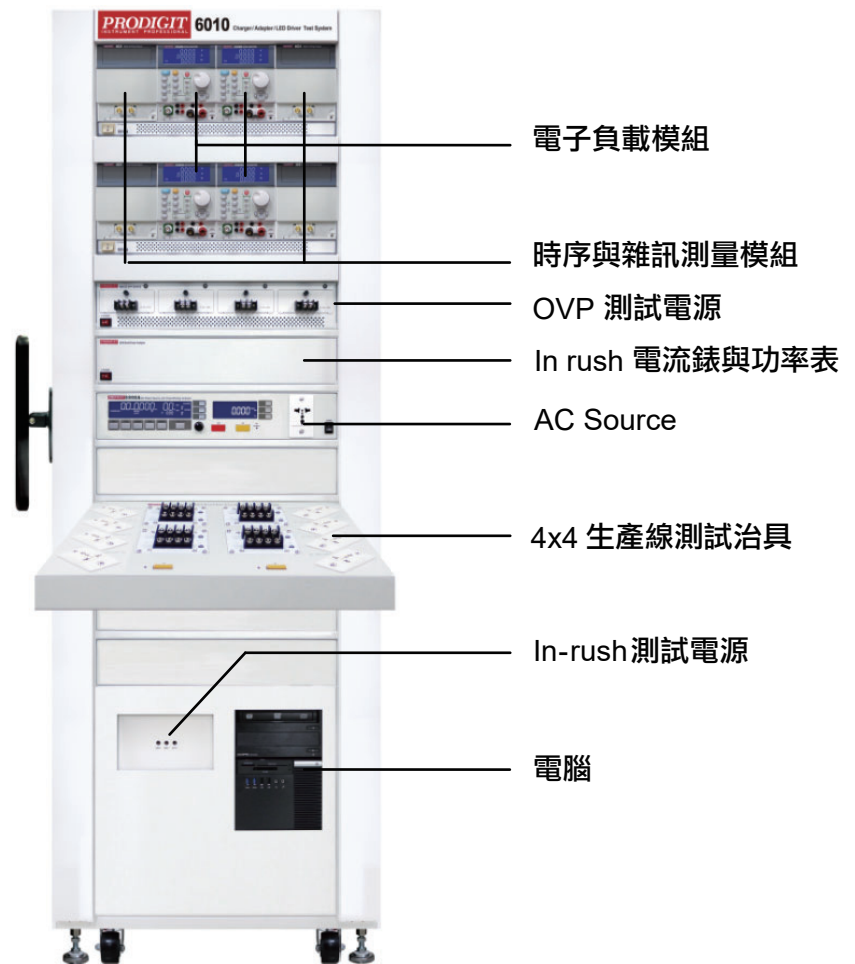
33431G 600V, 12A, 1800W

33432G 600V, 24A, 3600W



特 性

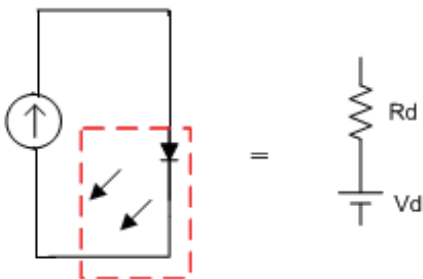
- 適用LED電源及一般電源。
- CC, CR, CV, CP, LED and Dynamic 的負載工作模式。
- 模擬LED Forward Bias Voltage (V_d) 和 Resistance (R_d)。
- LED工作模式下共有六檔，適用各種LED串並聯應用。
- >100KHz快速的電壓 / 電流反應，可滿足PWM調光反應測試。
- 內建隔離式調光控制信號。
- 內建短路測試繼電器控制電壓，可選配短路專用治具板（內含高壓大電流的短路用繼電器）。
- 適用 3300F/3302F/3305F 4/1/2 模組機框。
- 可選配高達600V LED 電源電壓。



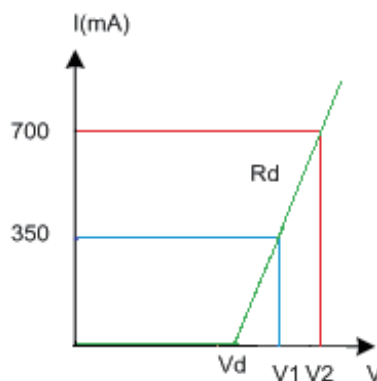
6010 電源產品自動測試系統 (ATE)

首先我們來認識LED 的負載特性：

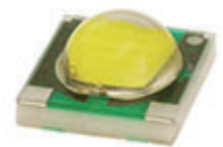
圖1是使用的電流源來驅動LED燈，LED的等效電路包括兩部分，分別是串聯電阻 R_d 與串聯電壓 V_d 如圖2所示，LED的特性曲線如圖3，當LED兩端的電壓大於LED等效串聯電壓 V_d 後，流經LED的電流 I_o 為 $(V - V_d) / R_d$ 即為等效電阻。



圖(1) LED及驅動器 圖(2) LED等效電路



圖(3) LED特性曲線



實際LED元件

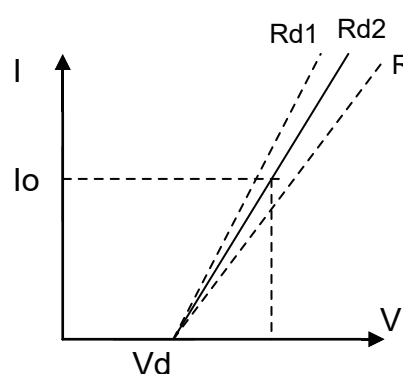
實際的照明用功率LED的電流一般大小為350mA、700mA，高功率LED甚至高達1400mA、2800mA，順向電壓 V_d 大約是2.8V~3.4V，LED發光流明值與流過LED的電流值成正比，從圖3可看到 V_d 會隨驅動LED的電流變大而增加，這時LED發光就愈亮也會產生更多由 $I \times R_d$ 產生的熱。

當LED driver為定電流源時，流經LED端的電壓為 $V_d + (I \times R_d) = V_o$ ，實際上導通電壓 V_d 為負溫度係數（約為 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ ），即 V_d 會隨溫度上升而降低，導致 V_o 會隨溫度上升而降低。

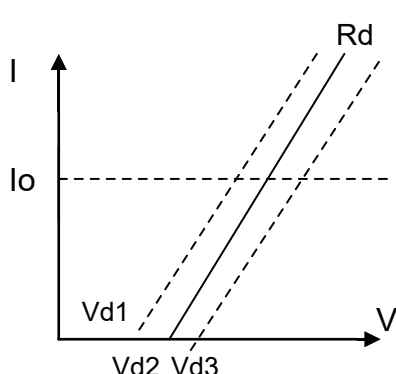
由於LED的負溫度係數特性，所以驅動照明的功率型LED都使用電流源而不使用電壓源，才不會降低LED使用壽命。

對於實際LED的 V_d 與 R_d 數值與特性，可以查閱該LED的廠商規格書，或使用對LED元件實際測試方式，就是逐一改變流經LED的電流值並逐一記錄相對應的LED端電壓，這樣就可以繪製出整個LED的I/V電流電壓特性曲線。

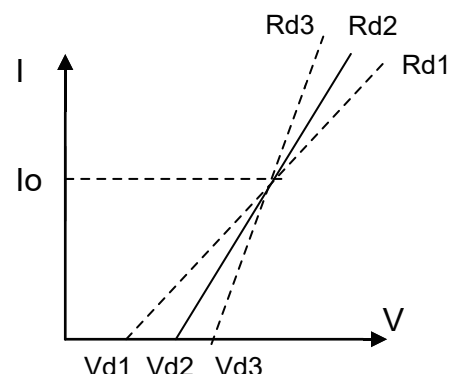
雖然電路上是LED符號，在實務上LED會因發光顏色不同或製造廠商型號不同，或工作環境溫度不同等因素，造成LED的 V_d 與 R_d 就不同，下圖為三種不同LED的特性分別LED1、LED2、LED3，所對應 V_{d1} 、 V_{d2} 、 V_{d3} 與 R_{d1} 、 R_{d2} 、 R_{d3} 。



LED的 V_d 相同，但 R_d 不同
($R_{d3} > R_{d2} > R_{d1}$)



LED的 V_d 不同，但 R_d 相同
($V_{d3} > V_{d2} > V_{d1}$)



LED的 V_d 與 R_d 都不同
($V_{d3} > V_{d2} > V_{d1}$)及
 $R_{d1} > R_{d2} > R_{d3}$

當單顆LED的流明不足時，可以選用更高功率的LED或多個LED串聯，多個LED串聯可增加輸出亮度，市場上已經有多顆LED封裝在一起的Array型產品，此時 V_d 及 R_d 均會依串接的倍數增加。圖4~6為各種LED串聯及其等效電路與對應的特性曲線。

各種LED照明的應用：

單顆 LED

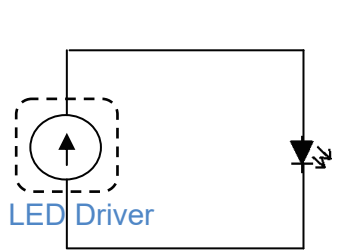
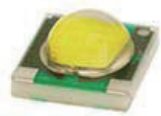
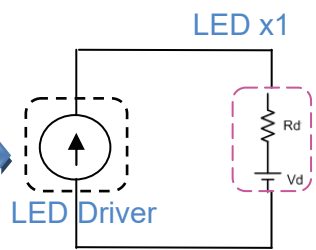
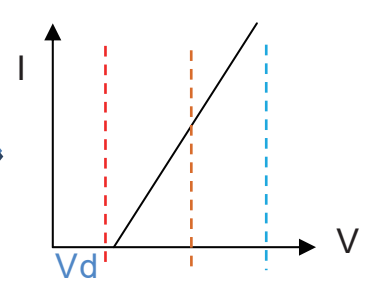


圖 4 單個 LED 電路



單個 LED 等效電路



單個 LED 的 VI 等性曲線

三個 LED 串聯

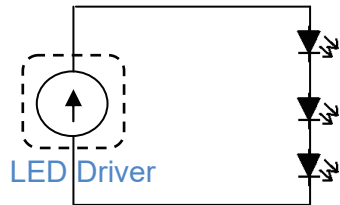
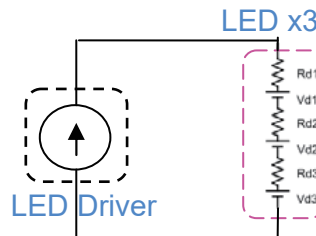
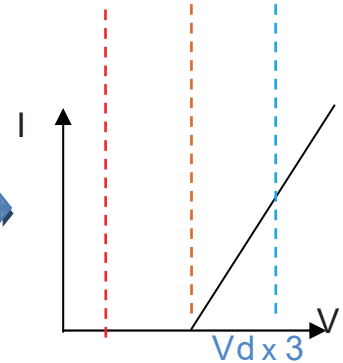


圖 5 三個 LED 串聯電路



三個 LED 等效電路



三個 LED 串聯的 VI 等性曲線

六個 LED(二串聯 LED 並聯)

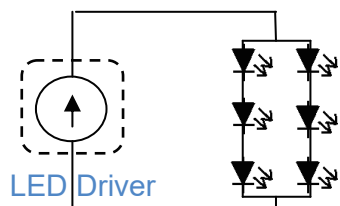
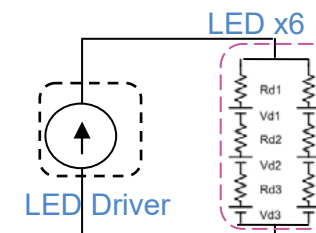
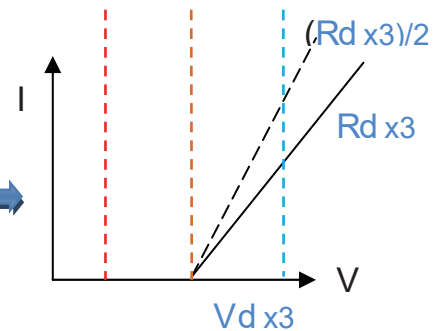


圖 6 六個 LED 串並聯電



六個 LED 串並聯等效電路



六個 LED 串並聯的 VI 特性曲線

當愈多個LED串聯後，LED驅動電源的電壓就需更高，為避免電壓過高（例如 > 60V）造成需絕緣及安規等處理，此時可以將多個LED串聯後再併聯可更增加輸出亮度， V_d 會依串接的倍數增加， R_d 則依串併聯的結果，圖6為兩串各3個LED的併聯及其等效電路與其特性曲線圖。

博計電子的3341G/3342G/3343G / 33431G / 33432G LED 電子負載模組是專為模擬LED所設計，可以模擬從單個LED到多顆LED串聯，串聯後的電壓可以高達500V，也可以模擬多組LED並聯，並聯後最大電流可以達到24A，功率可達300W乃至1800W或3600W，另外33401G 模組內有兩個相互獨立150Wx2的LED電子負載，適合功率小於150W，需要同時測試兩路LED電源或生產測試需要兩個LED電源同時測試。

對於LED Driver 輸出超過500V時，訂購時可選用600V的選配，詳情可參閱博計公司網站或洽詢博計的業務部門。

以下說明LED mode負載與一般電子負載的差異：

LED驅動器或LED驅動電源(LED Driver)是將市電轉換成適合驅動LED照明的裝置，依據最終使用需求有專用型及通用型兩種。

專用型的LED驅動器與LED燈是配置在一起, 如E27燈泡MR16杯燈或T5 / T8燈管等較小型的照明裝置，這些裝置已經將驅動LED的電路與特定數量的LED整合在一起了，同時也封裝成符合燈具標準的產品。

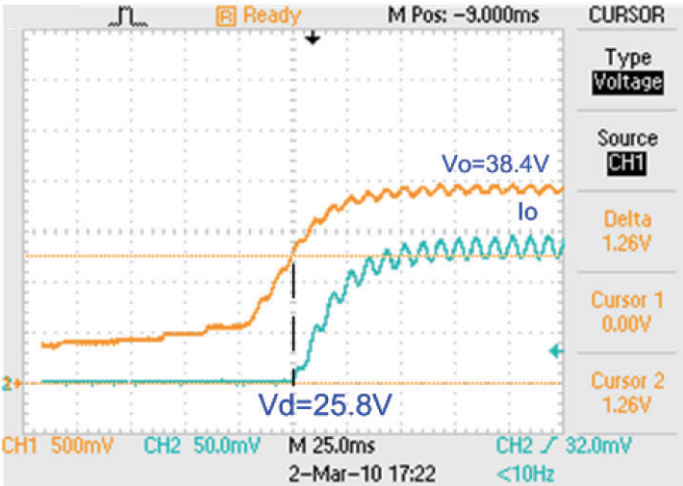
通用型的LED驅動器與LED發光裝置通常包裝成兩個部分，再用導線連接，可以依據使用環境需要的光源做彈性合適的配置，例如LED的功率與電壓是有一個區間，這表示照明燈具上LED的數量是可依環境的需求來搭配，通常這些是功率較高的照明裝置，使用在商業或工業的環境。

通用型的LED驅動器的規格如下例所示：

SPECIFICATION

MODEL		PCD-25-350 ☐	PCD-25-700 ☐	PCD-25-1050 ☐	PCD-25-1400 ☐
OUTPUT	RATED CURRENT	350mA	700mA	1050mA	1400mA
	OPERATING VOLTAGE RANGE	40 ~ 58V	24 ~ 36V	16 ~ 24V	12 ~ 18V
	CURRENT RANGE	0 ~ 350mA	0 ~ 700mA	0 ~ 1050mA	0 ~ 1400mA
	RATED POWER	20.3W	25.2W	25.2W	25.2W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.1	4.6Vp-p	2.7Vp-p	2.2Vp-p	2Vp-p
	OUTPUT VOLTAGE (max.)	63V	50V	35V	25V
	SETUP TIME	1000ms / 230VAC 2000ms / 115VAC at full load			
INPUT	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz			
	POWER FACTOR	PF ≥ 0.9 at full load and rated output voltage			
	EFFICIENCY(Typ.)	82%	81%	80.5%	80%
	AC CURRENT	0.6A/115VAC 0.3A/230VAC			
	INRUSH CURRENT(max.)	40A/230VAC			
	LEAKAGE CURRENT	<0.5mA / 240VAC			

以下說明實際 LED 負載與電子負載測試時，其中電子負載在 CC, CR, CV, LED mode 的差異實際LED負載 (3W/3.85V/700mA LED 串 10 個)。



圖(13) 實際LED負載之V, A波形Vd=25.8V, Rd=(Vo-Vd)/Io=18Ω

負載模式	應用	負載設定參表	特性圖
CC Mode 定電流負載	測試電壓源 例如 Adaptor power supply	一個, 負載電流值(模擬電源的負載電流值)。	
CR Mode 定電阻負載	測試電壓源或電流源 例如電源的過電流或開機	一個, 負載電阻值。	
CV Mode 定電壓負載	測試電流源 例如 Charge 充電器	一個, 負載電壓值(模擬充電電池的端電壓)。	
CP Mode 定功率負載	測試電池放電容量	一個, 負載功率值, 負載電流會隨電池的端電壓, 不斷地自動調整到定功率值。	
LED Mode LED 電子負載	測試 LED 驅動電源 例如 LED Driver	二個, LED 的 V_d 與 R_d 值, 模擬 LED。	

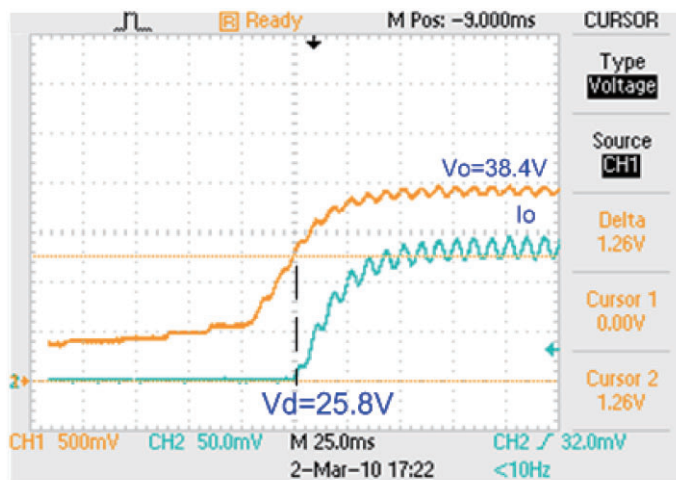
電子負載的各種工作模式說明

一般電子負載的CC mode；僅需設定一個參數，是用來當作電壓源的負載，由於LED Driver是電流源輸出，因此無法使用CC mode定電流負載。

一般電子負載的CR mode；僅需設定一個參數，設定CR mode 及 $R = V_o / I_o$ ，是用來當作電壓源或電流的負載，雖然CR mode 可能可以被用來測試LED Driver，但是等效電路不同，無法像LED 一樣的特性，無法達到LED仿真的功效。

一般電子負載的CV mode；僅需設定一個參數，設定 CV mode 及 $V = V_o$ 是用來當作電流源的負載，雖然CV mode可能可以被用來測試LED Driver，但是等效電路不同，無法像LED 一樣的特性，無法達到LED仿真的功效。

LED mode；LED 模式為模擬等效電路圖(2) 的LED，整合上述的CR mode + CV mode而成，3340G系列LED mode 需同時設定兩個參數，分別是 V_d 與 R_d ，此時圖14電流波形與圖13 實際LED負載相同。



圖(14) 3340G / 33430G LED MODE 電子負載的電壓 V_o 與電流 I_o 波形，其中當輸出電壓達到25.8V時， I_o 電流才開始增加，與LED等效電路相同。

由於通用型LED驅動電源是可以搭配各種不同的LED燈組合，所以需要逐一設定LED mode 負載的參數，包括 V_d 、 R_d 、 V_o 、 I_o 等來驗證。由於實際 LED driver 所連接的LED會依廠牌、規格、串接、併接等各種狀況而有不同的負載，若逐一測試則需花費高昂的測試成本，使用電子負載來模擬各種不同LED的組合來測試，可達到快速又低廉的成本。

Prodigit 的3340G / 33430G系列LED mode負載提供2種設置方式來模擬實際的LED燈，設定上非常方便，可以省去許多計算的程序與時間。

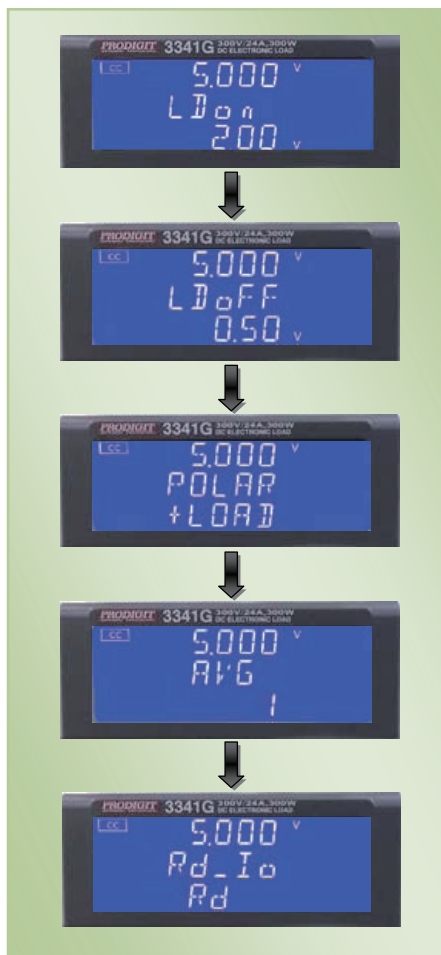
第一種： V_o , V_d , R_d

第二種： V_o , I_o ,

Config 以及 LED 顯示器

按下 Config 鍵進入 Config 設定模式，LED 指示器 ON，其操作設定順序至顯示器顯示 R_d 及 I_o 。

如下圖所示：



Rd setting



Io setting

此時，按下Mode鍵至LED Mode，再按 **Preset** ON.



Set Q'ty

Set Vo

Set Vd

Set Rd



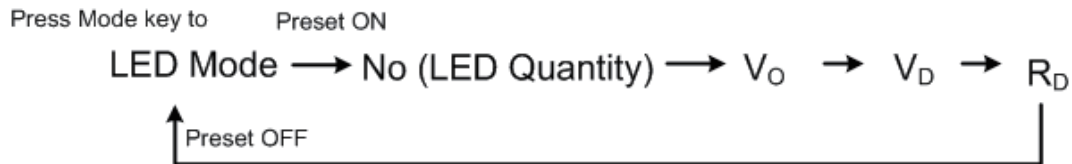
Set Q'ty

Set Vo

Set Vd

Set Io

如何設定 3340G / 33430G 系列 Vo, Vd, Rd, No



如上圖，先選擇LED MODE

按下PRES鍵設定LED串聯或是LED串並聯數量（初始值為1，一般來說LED Driver輸出規格都已經列出Vo最終數值，故一般來說設定1即可）。

再按PRES鍵設定Vo

依CREE LED規格設定Vo=25.000V

再按PRES鍵設定Vd，3341G系列內定Vd值為Vo值的80% (即20V)，CREE LED 規格Vd值為Vo值的90%，此時可將Vd調整為22.5V。

再按PRES鍵設定Rd

依 $(V_O - V_D) / I_O$ 設定Rd=16.666Ω

按下"LOAD"按鍵開始準備吃載待測物接上負載端子後、再開啟待測物電源（LED DRIVER為定電流時無法空載開機）。



Vo & Io 設定與實際輸出

3340G / 33430G 系列 LED mode 負載依據使用者設定Vo，Io及Rd來模擬出如圖(3)之LED特性曲線，所以並不是 LED 實際的拉載值。

LED負載的等效電路是Vd及Rd兩項參數所組成，因為Io是由 LED Driver 所提供，呈現在LED上面的電壓值 $V_O = V_D + I_O \times R_D$ ，若實際輸出電流與設定值有誤差時，相對地Vo值也會不一樣，這可以用 3340G / 33430G 系列LED電子負載的電流表讀值或使用實際 LED Lamp + 電流表來驗證。

LED Driver 的短路測試：

LED Driver輸出為定電流，無法像其他電壓源一樣使用一般電子負載的短路功能來進行短路測試，有可能因為電子負載的模擬短路阻抗不夠低，而導致LED Driver的短路保護無法動作。



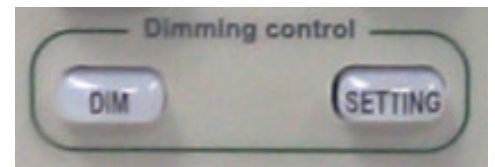
因此3340G / 33430G 系列 LED mode Load 特別提供一個 12V 電源及 Short Relay output 介面來控制外部 12V 繼電器來進行短路測試，並提供選購的短路專用治具板，該電路板上已裝上對應LED負載模組的短路用繼電器，分別供 3341G、3342G/3343G、33401G、33431G及33432G各種機型使用，該治具板於短路測試功能鍵按下動作時，3340G / 33430G系列LED負載模組面板上的Short輸出端會驅動裝在治具版上的繼電器，繼電器控制的接觸點會將Load的正及負輸入端短路，也就是直接對LED Driver的輸出提供僅數十mΩ的短路電阻，用來驗證測試短路保護功能能否正確動作。



接下來，當LED Driver 有調光功能時，博計對於調光所提供的測試方案：

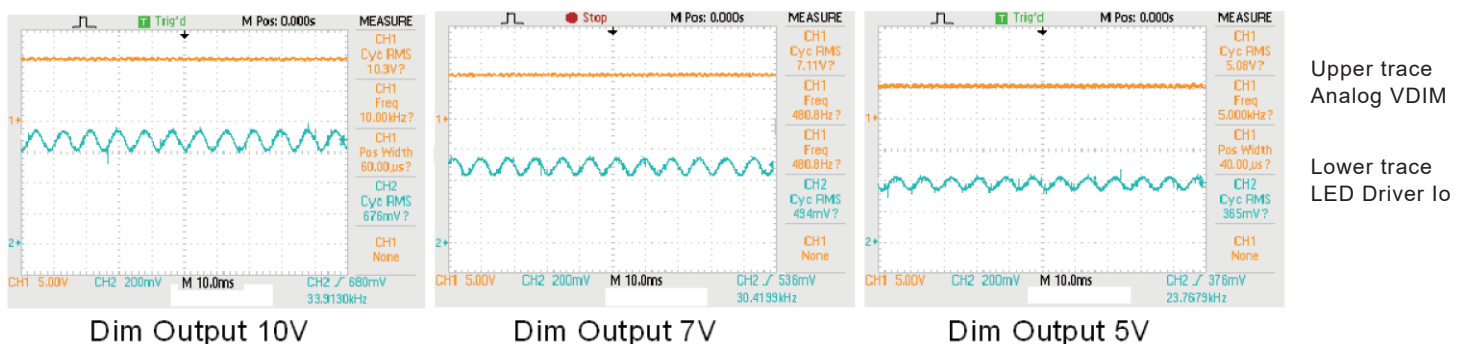
LED Driver 的調光裝置大致分為 TRIAC dimming 和 PWM dimming 2 種 TRIAC dimming 為使用 TRIAC 調光器（目前市面上已使用多年的白熾燈泡調光器，使用TRIAC來調整電壓相位，達到調整白熾燈泡的亮度），具有輸入電壓TRIAC 調光功能的LED 燈泡，將輸入連接於調光器時，就可以依 TRIAC 調光器的電壓相位變化，調整 LED 燈泡的輸出電流達到調整 LED 燈的亮度。

PWM dimming模式的調光測試，是採用一組控制訊號到LED Driver 的調光控制輸入端，控制 LED Driver 輸出電流的工作週期來達成LED調光，故 LED Driver 驗證測試時必須增加一組控制訊號來做調光控制，3340G / 33430G系列LED mode Load 則提供了一組與電子負載模組隔離的DIM 控制輸出電壓訊號，可調整電壓準位0~12V、Duty Cycle 1~99%，Frequency DC~1KHz，以模組來達到系統的功能，可以模擬0~12V的類比調光電壓信號或是PWM的數位調光信號，這些在3341G負載模組上就可以調整控制，操作非常方便，當驗證測試 LED Driver 的調光能力時，運用這項標配調光控制，就不需要額外的一部信號產生器來當調光控制信號。

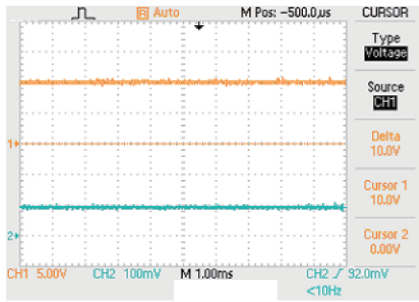


一般非LED專用的電子負載對於LED驅動器的輸出電流調變的反應速度太慢，無法進行 LED Driver 的調光測試(Dimming test)，經過特別處理的Prodigit 3340G / 33430G系列LED mode Load 具有100KHz 以上的頻寬，具有足夠的反應速度可以在調光時穩定動作，並且配置高達6個Vd與Rd檔位的設計，能夠模擬各種LED的組合條件。

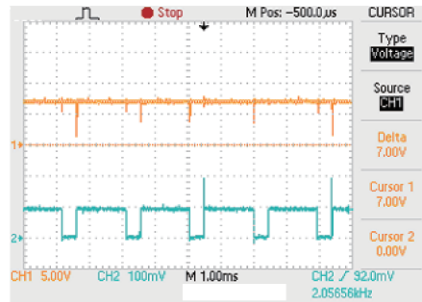
- DIM : Io (Level) control by analog voltage control



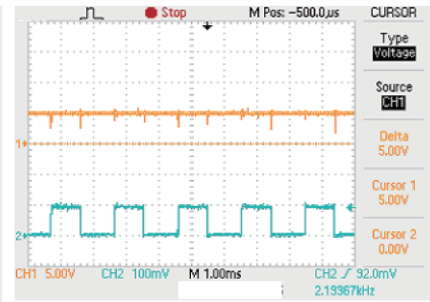
- DIM : PWM Io by analog voltage control



Dim Output 10V



Dim Output 7V

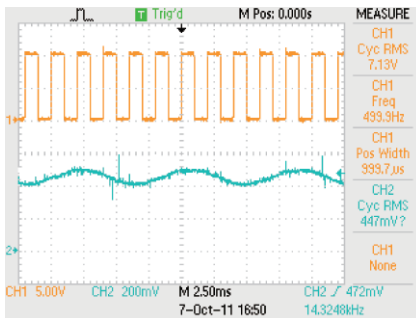


Dim Output 5V

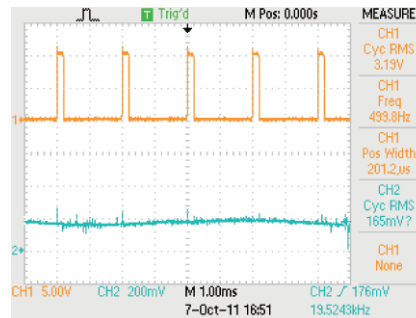
Upper trace
Analog VDIM

Lower trace
LED Driver Io

- PWM Freq. DC~1 KHz, Duty 0.01~0.99(1~99%)



10V, 500Hz Duty 0.5

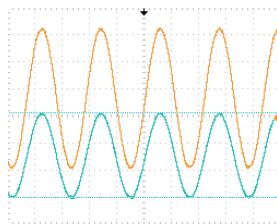


10V, 500Hz Duty 0.1

Upper trace
Analog VDIM

Lower trace
LED Driver Io

當執行PWM調光動作時，由於此時LED Driver的輸出電壓與電流都是變動的，可能導致3340G / 33430G系列LED電子負載上電表讀值不夠穩定，此時3340G / 33430G系列電子負載內建了電壓表與電流表多次讀值後自動平均的功能，使用者可以自由設定1, 2, 4, 8, 16, 32, 64次的電表讀值平均，當然愈多次讀值平均後讀值會愈穩定，但是相對的反應時間也會愈長，因此設定平均次數時，調整到讀值可以穩定而反應速度可以接受的程度。



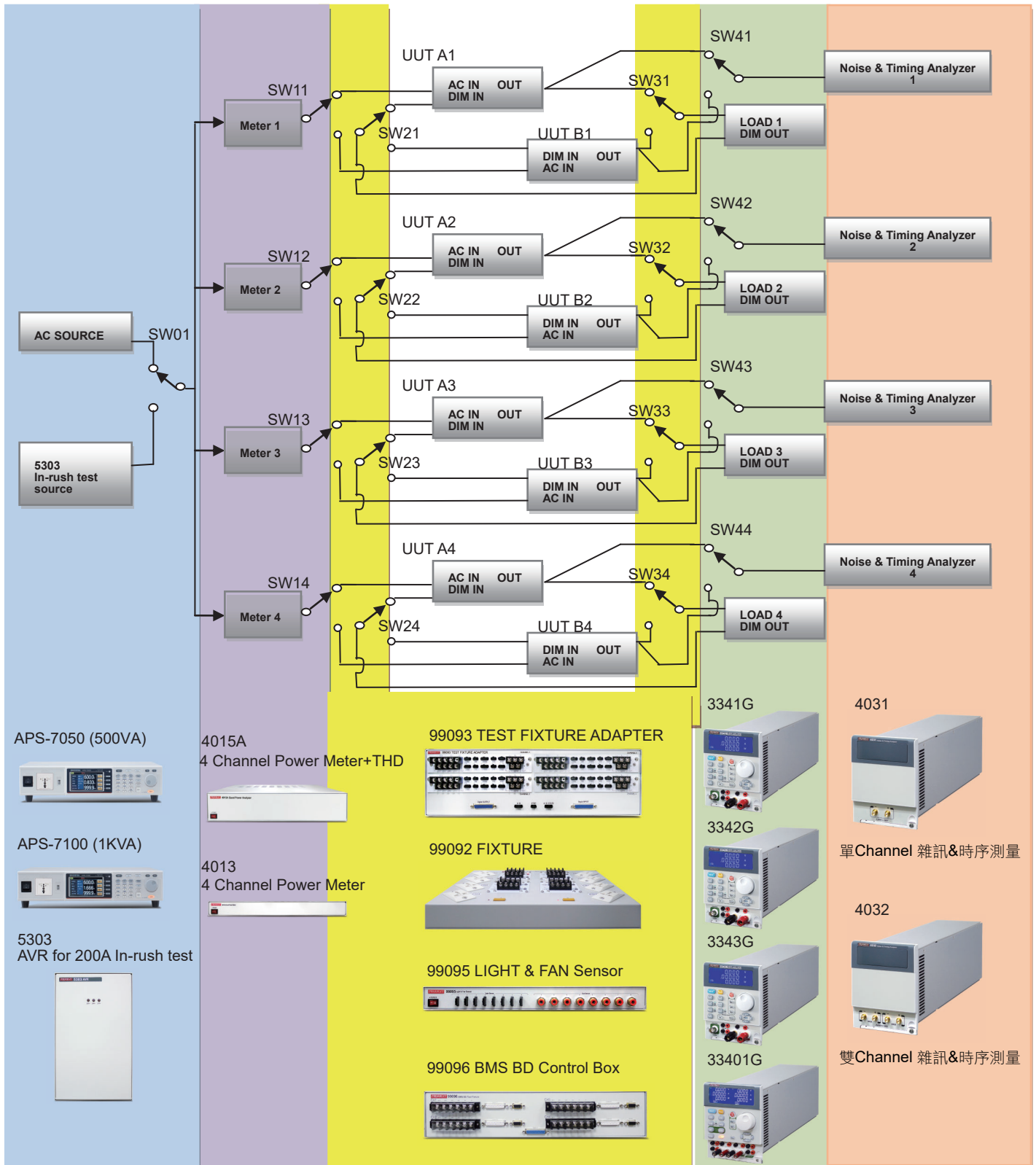
Current Waveform: 1.56Ap-p 100Hz

AVG Setting	1	2	4	8	16	32	64
DAM	0.7513 ~ 0.7649	0.7565 ~ 0.7620	0.7598 ~ 0.7622	0.7613 ~ 0.7623	0.7618 ~ 0.7624	0.7628 ~ 0.7630	0.7636 ~ 0.7637

以上是3340G / 33430G系列 LED負載對於LED Driver測試的詳細說明，另外可參考本公司另一專文討論可調光LED照明的調光測試，可獲得更多測試資訊。對於生產製造時需要快速測試時，博計提供6010 ATE測試系統，這是具有彈性、高速、高品質的測試系統，以下就6010 LED ATE的測試系統硬體架構說明如下：

(註：此架構為具有4*4的測試治具，能夠提供需要量大且快速的生產線四個待測物同步測試)

6010 ATE for LED Driver 的系統架構圖



SW01 : 一般測試 or
In-rush Current test

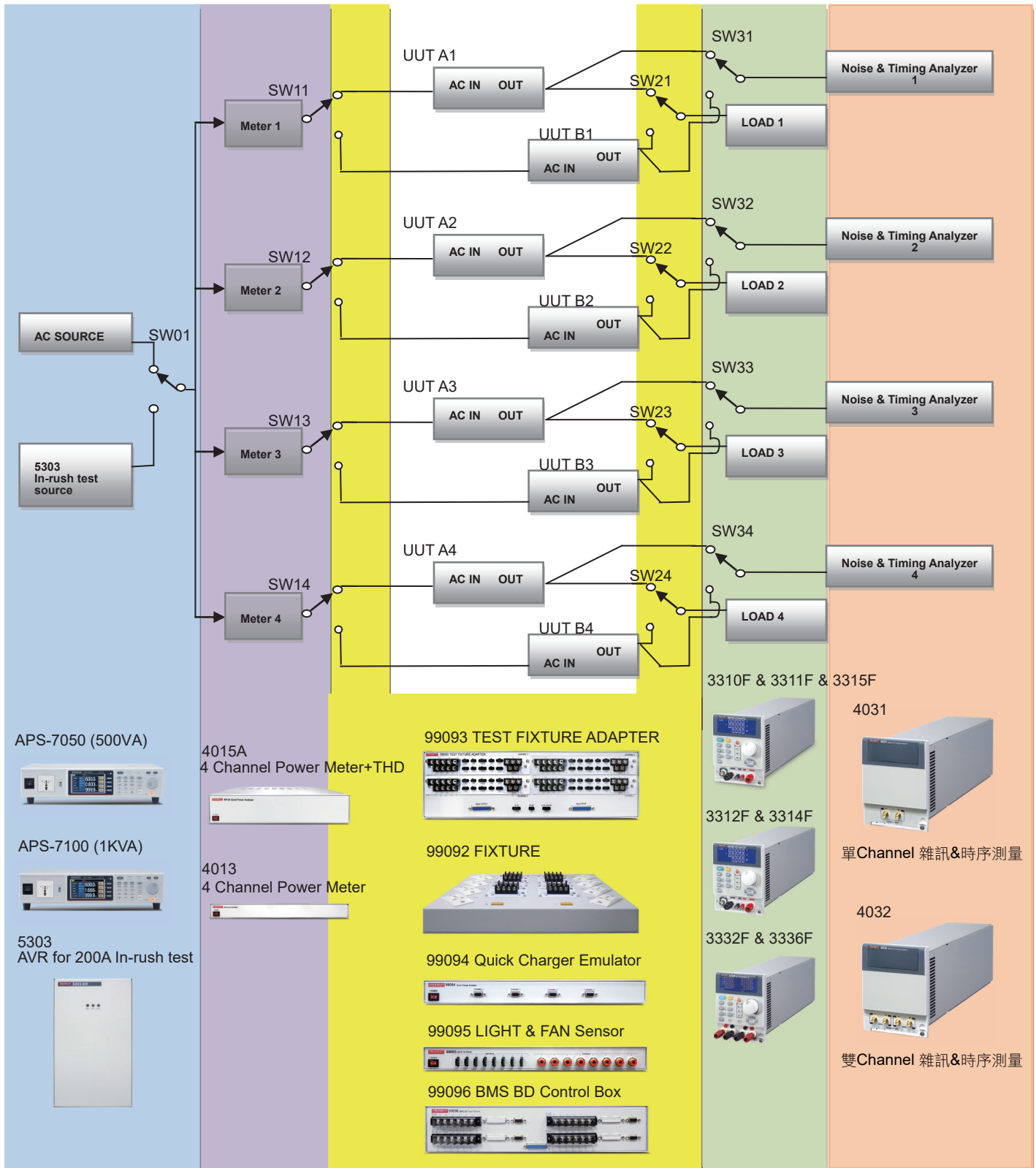
SW11 ~ SW14 : AC電壓選擇開關供給UUT A/B的電源輸入
SW21 ~ SW24 : DC負載調光選擇開關供給UUT A/B的調光輸入
SW31 ~ SW34 : DC負載選擇開關連接到UUT A/B的輸出
SW41 ~ SW44 : Noise & Timing Meter 選擇開關連接到UUT A/B
的輸出

60104+3342G+4031



60104為6010測試模組的機框

6010 ATE for Adapter / Charger 的系統架構圖



SW01 : 一般測試 or
In-rush Current test

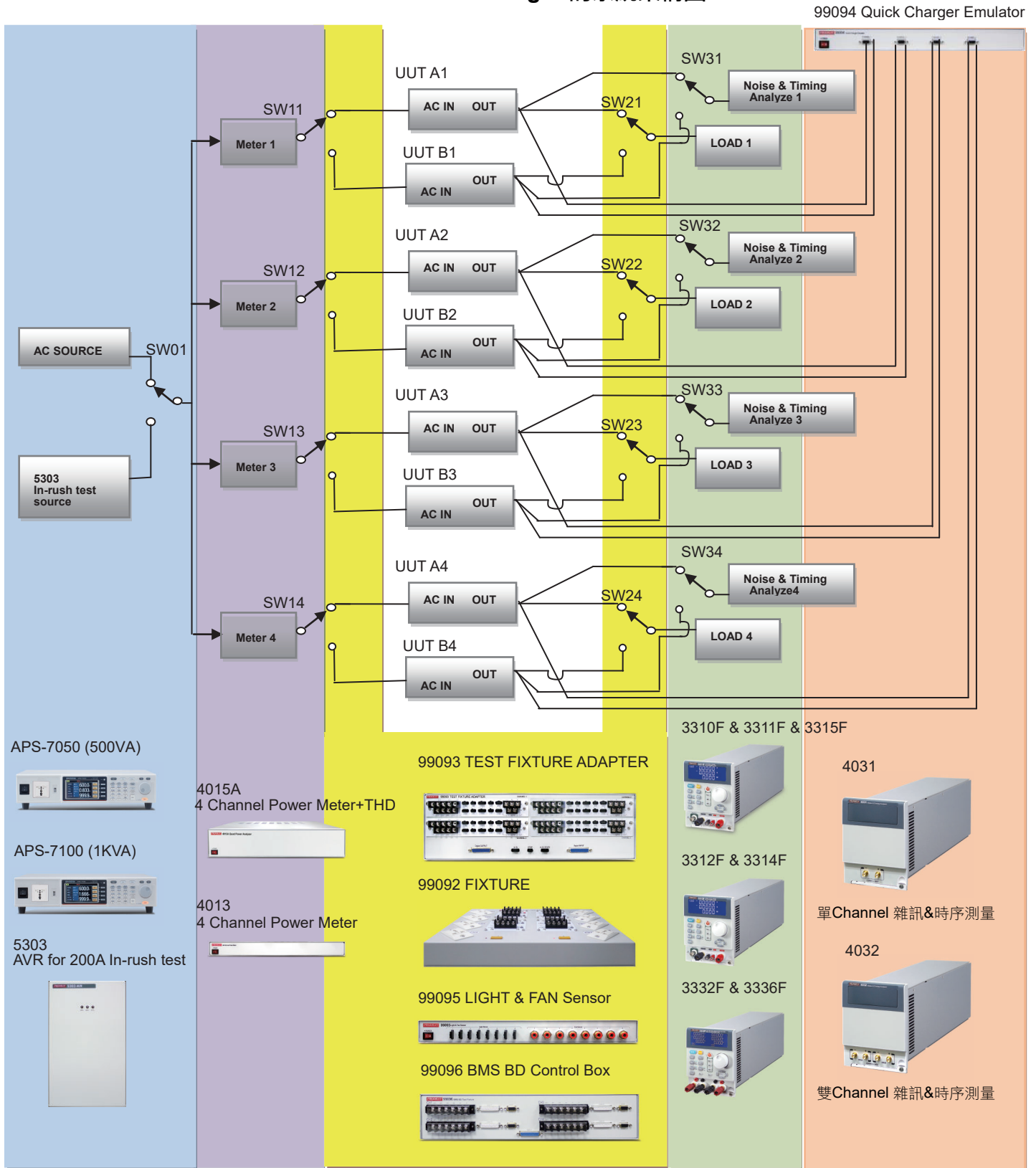
SW11 ~SW14 : AC電壓選擇開關供給UUT A/B的電源輸入
SW21 ~SW24 : DC負載選擇開關連接到UUT A/B的輸出
SW31~ SW34 : Noise & Timing Meter 選擇開關連接到UUT A/B
的輸出

60104+3311F+4031



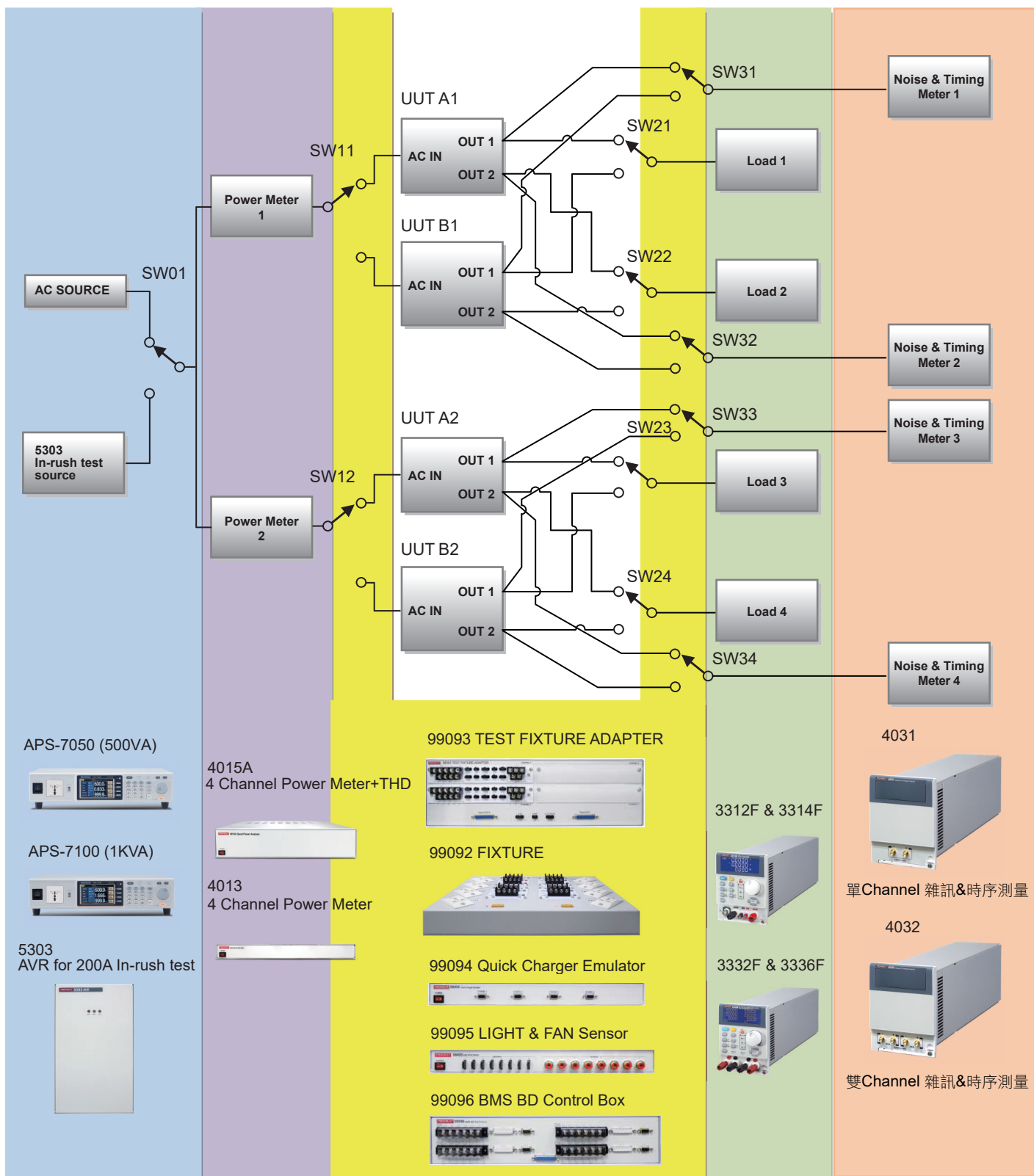
60104為6010測試模組的機框

6010 ATE for Quick Charger 的系統架構圖



60104為6010測試模組的機框

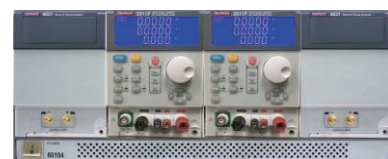
6010 ATE for 2 路輸出 AC / DC 電源的系統架構圖



SW01 : 一般測試 or
In-rush Current test

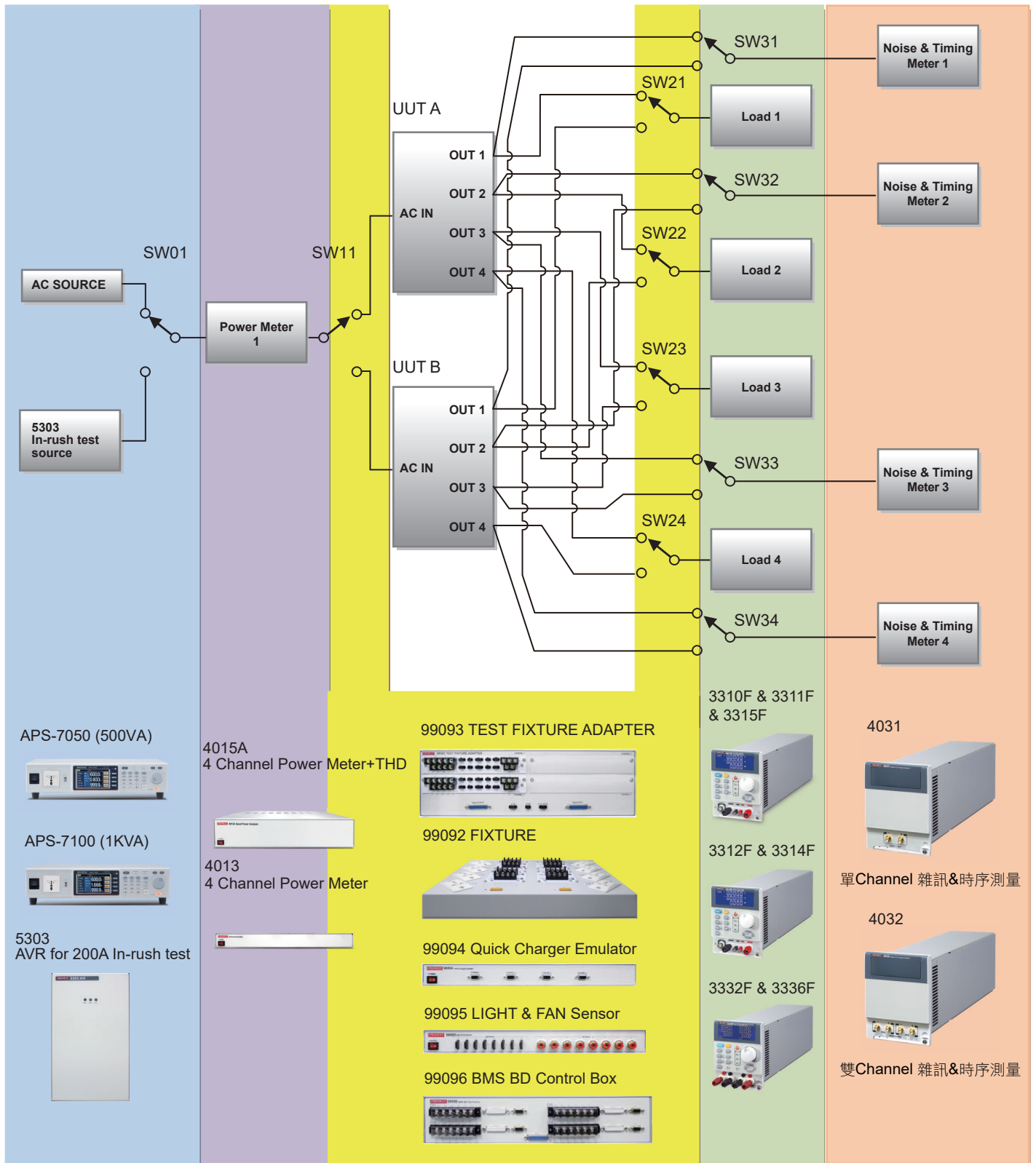
SW11 ~SW14 : AC電壓選擇開關供給UUT A/B的電源輸入
SW21 ~SW24 : DC負載選擇開關連接到UUT A/B的輸出
SW31~ SW34 : Noise & Timing Meter 選擇開關連接到UUT A/B
的輸出

60104+3311F+4031



60104為6010測試模組的機框

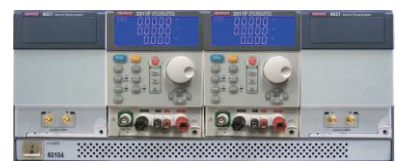
6010 ATE for 4 路輸出 AC / DC 電源的系統架構圖



SW01 : 一般測試 or
In-rush Current test

SW11 ~SW14 : AC電壓選擇開關供給UUT A/B的電源輸入
SW21 ~SW24 : DC負載選擇開關連接到UUT A/B的輸出
SW31~ SW34 : Noise & Timing Meter 選擇開關連接到UUT A/B
的輸出

60104+3311F+4031



60104為6010測試模組的機框