

# APPLE II

## 硬體電路分析

(Apple II 電路分析)

余良吟 譯



APPLE II

# 硬體電路分析

(附台灣改良 Apple II 電路分析)

余良吟 譯

儒林圖書公司印行

版權所有  
翻印必究

---

## APPLE II 電路分析

譯者：余良吟

發行人：楊鏡秋

出版者：儒林圖書有限公司

地址：台北市重慶南路一段111號

電話：3812302 3110883 3140111

郵政劃撥：106792號

吉豐印刷廠有限公司承印

板橋市三民路二段正隆巷46弄7號

---

定價：H. K. \$ 35 元正

# 序

本書係對Apple II 電腦的電路作一詳盡的分析，其中包括了由最早到最近的主邏輯電路板（Rev.0 至RFI Rev. D），另外也包含了目前的二件式（two-piece）鍵盤及較早的單件式鍵盤。

讀者對象包括工程師、技術人員、學生及業餘愛好者。我們試圖進入最深的階層並要求最深的背景，其方法是將各章分成二部份：概說及細節電路分析。你可選擇閱讀其中的一部份，或是二者。

本書包括八章；第一章係說明書中正文及圖片所用的符號及一些術語，本章中亦包含了一個名詞的語彙表。第二章敘述了Apple II 電腦的方塊圖。

細節的描述係始自第三章。第三章及第四章涵蓋了系統時鐘及部份的視訊電路。第五章將解釋記憶系統，而第六章則針對6502 微處理機及系統匯流排；第五及六章中的概說部份係用以解釋4116 RAM及6502 微處理機，所以讀者對這些裝置不需任何預先的知識。

鍵盤及其他的電路板上I/O係在第七章中予以討論，而第八章中的主題則為視訊顯示（包括圖形及文字顯示）。由於Apple的電路中，有一大部份是用以產生視訊訊號，所以我們在附錄A中簡介了視訊技術。

附錄B中收集了所有已知的Apple II 母板及鍵盤的電路修改。本書正文描述了最近的Apple II 電路，而附錄B則敘述最近的Apple和所有較早的電路間的差異。附錄C中包含了一些母板和鍵盤圖，這些圖適用於所有的電路版本。本書之結尾為一個參考文獻表。

Winston D. Gayler

編者識：爲了儘量提供大的圖，許多圖係置於書後的折疊頁中，這些圖將以星號直接標於正文中圖號後，例如圖3-4\* 表示圖3-4 係位於書後。

# 台灣改良 APPLE II 電路分析

## 目 錄

<b>第 1 章 導 言</b> .....	1
本書的對象——章節的安排——商標專利權及版權——你應知道的事——電路的變更——IC 及訊號術語——波形——研究工作——名詞彙表	
<b>第 2 章 APPLE II 的方塊圖</b> .....	13
基本結構及滙流排——記憶體——輸入 / 輸出——視訊——電源供應器——總結	
<b>第 3 章 時鐘訊號產生器及水平時序</b> .....	23
概說——細節電路分析——總結	
<b>第 4 章 視訊時序</b> .....	37
概說——細節電路分析——總結	
<b>第 5 章 記憶系統</b> .....	47
4116 ——概說——細節電路分析——總結	
<b>第 6 章 6502 及系統滙流排</b> .....	69
概說——細節電路分析——總結	
<b>第 7 章 電路板上的 I/O</b> .....	103
概說——細節電路分析——總結	

<b>第 8 章 視訊顯示</b> .....	125
概說——細節電路分析——總結	
<b>附錄 A  視訊技術</b> .....	167
基本視訊顯示——廣播標準——色彩——過度掃描——總結	
<b>附錄 B  APPIe 電路的變更</b> .....	179
<b>附錄 C  APPIe  II 電路圖</b> .....	195
<b>附錄 D  參考文獻</b> .....	199
<b>附錄 E  Apple  II  在台灣的修改</b> .....	203

# 第 1 章

## 導 言

你是否想知道你的 Apple II 電腦的電路工作細節？或許你正在著手設計一個週邊裝置或作某些調整，也許你需要修理一架 Apple ，也許你只是對電路如何工作感到好奇。

本書一開始只是練習去瞭解 Apple II 的硬體，最初的目標是瞭解電路或設計如何去調整電路，但經由此而獲得的知識很快就能應用於其他目的中，所以我們得以進一步地發展本書的計劃，其結果是對 Apple II 的主電路板及鍵盤作一完整的描述及分析。在本章導言中，我們將介紹本書的組織並解釋一些名詞及符號。

### 本書的對象

本書是為工程師，技術人員，學生及有極大興趣的業餘愛好者而寫的。工程師和業餘愛好者可利用所描述的電路及時序圖（ timing digram ）而作設計週邊裝置或調整電路的預備工作，而技術員則可利用時序圖以幫助修護工作，其中波形圖在以示波器作偵錯工作時特別方便，至於學生則可將 Apple II 當作一個實際的電路設計例子。在大多數情況中，我們將說明設計的理由，所有的讀者皆可利用這些說明以進一步瞭解 Apple II 的工作情形。

### 章節的安排

第二章將描述 Apple II 母板的方塊圖，其中我們將介紹諸如「位址多工

## 2. APPLE II 電路分析

器」( address multiplexer ) 及「視訊位址產生器」( video address generator ) 等名詞，並使用於各方塊圖中。第二章中也包括對電源供應器的一個簡短的電路描述及討論。

第三章至第八章構成本書的主體。每一章將以電路的某一功能為主題並作詳細檢視，各章皆分成二部份：概說及詳細電路分析。概說部份將解釋電路概念，它通常也包含方塊圖及簡化的時序圖，如果對你這是新的材料，你可能只讀概說部份而在需要特殊細節時才去閱讀詳細電路分析部份，另外一方面，你可能早已熟悉 Apple II 的硬體，在這種情形下，你可能直接跳到電路分析部份而略過概說部份。

第三章的材料是主振盪器 ( master oscillator )，時鐘訊號產生器及視訊位址產生器的水平部份。對數位電路而言，時鐘訊號特別重要，而由於它參與視訊電路之工作，故在 Apple II 上尤其重要。

第四章將敘述視訊位址產生器的垂直部份，本章中也涵蓋了視訊同步，遮蓋及色彩脈衝訊號。

Apple II 中的 RAM ( random access memory ) 是由微處理機及視訊產生器所共用，此共用技術將在第五章中描述，另外本章亦將對 4116 動態 RAM ( dynamic RAM ) 作一簡介。

第六章首先對 6502 微處理機硬體作一簡介，然後描述 6502 在 Apple 中所用的週期型式 ( cycle type )，其中包括讀取週期，寫出週期，RAM 週期，ROM 週期，I/O 週期及鍵盤週期，另外還有中斷及 DMA ( direct memory access )。

第七章所描述的是 Apple II 電路板上的 I/O 裝置 ( on-board I/O devices )，例如卡式 I/O ( cassette I/O )，遊戲 I/O 及喇叭。本章也包括對目前二件式 ( two-piece ) 鍵盤的描述。

視訊產生器將於第八章中描述，讀者將可由本章中學到硬體如何在軟體控制下產生文字 ( text )，LORES 及 HIRES。

附錄 A 是對視訊訊號技術的簡介，若你對視訊訊號如同步，遮蓋及色彩脈衝不熟悉，那麼你可能需要閱讀此一部份，如此或許會增加你對三，四及八章的瞭解。

附錄 B 的主題是 Apple II 電路的演變；最近的電路 ( RFI 母板，Rev. D ) 係陳述於本書正文中，而由最早的 Apple II ( Rev. 0 ) 到目前為止的



變化則在附錄 B 中說明。本附錄中亦包括和較早電路不同的波形畫法，另外附錄中也描述了較老的單件式 ( single-piece ) 鍵盤。

附錄 C 中敘述 Apple II 所有版本的圖形符號。

在本書之末，我們列了一些參考資料，這是依照各章順序而排的。

## 商標、專利權及版權

Apple, Apple II Plus 及 Apple soft 為 Apple 公司的註冊商標，BASIC 為 Dartmouth 學院委託人的註冊商標。

Apple II 的部份電路係由美國專利權第 4,130,862 號，4,136,359 號及 4,278,972 號所保護。

Apple II 的電路圖之版權係隸屬 Apple 公司，這些圖係經該公司同意而重繪並付梓的。

## 你應當知道的事

本書的讀者應當熟悉 TTL 如閘，移位暫存器及多工器。在閱讀時，你可能需要一本 TTL 手冊，如參考 1.2。你並不需對 4116 RAM 或 6502 微處理機熟悉，這些在第五和第六章中將會描述，但你應對微處理機和微電腦結構有些基本知識，另外當然你應對二進位和十六進位熟悉，至於 Apple II 方面，你應當對 Apple II Reference Manual ( 參考 1.1 ) 熟悉。

## 電路的變更 ( REVISIONS )

自從 1977 年 Apple II 開發以來，它曾歷經數次電路變更，此變更將在附錄 B 中詳細討論，本章中我們只對變更作一總結，並建立一些有關術語以應用於全書中。

Apple II 的母板共有二類：非 RFI ( 早期的母板 ) 及 RFI ( 最近為降低無線電頻率干擾所設計的母板 )。

非 RFI 母板的編號為 820-0001-XX，其中 XX 為修訂號碼。第一個非 RFI 母板為 Revision 0，此處我們簡稱為 Rev.0，它僅具有四種 HI-

## 4 APPLE II 電路分析

RES 色彩，另外 Rev.0 也沒有色彩消除器 ( color killer ) 及電源開啓重設電路。

Revision 1 是下一代的電路，其中加了二種 HIRES 色彩而成爲目前的六種，另外它也加入了色彩消除器及電源開啓重設電路，此外還有一些細節的小變更。Revision 2, 3, 4 具有和 Rev.1 同樣的電路，本書中我們將他們歸之於 Rev.1。

下一個重大的改變發生在 Revision 7，其中記憶體跳越區 ( jumper block ) 不再使用，另外字母產生器的 IC 也改變了。

再來的大改變就是 RFI 主板了，它的編號爲 820-0044-XX，其中 XX 爲修訂號碼。到目前爲止 ( 到 Rev.D )，此板的所有變更在功能上都相同，故我們都歸之於 RFI。

電路編號可在主板左緣或在 6502 IC 下找到，細節可參閱附錄 B。表 1-1 中列有主板電路編號和上述術語的對照關係：

表 1-1 主板電路編號

	Part No.	Revision
Non-RFI	820-0001-00	Rev. 0
	820-0001-01 820-0001-02 820-0001-03 820-0001-04	Rev. 1
	820-0001-07 & up	Rev. 7
	RFI	RFI

## IC 及訊號術語

主板上的 IC 係根據它們在某一 X - Y 格子上的位置而標出的，格子座標則是由板左緣 A 到 K 的字母和前緣 1 到 14 的數字而組成的 ( 圖 1-1\* )。在每個 IC 中，各別的閘或部份係由此閘輸出的接腳號碼所指出，例如，正文中的「正反器 B10-9」表示一個在座標 B10 上 IC 中的正反器，此正反器的 Q 輸出端在第九腳。

訊號也是應用類似的術語，例如，訊號「C11-4」是 IC C11 上第四腳的訊號。在 Apple 電路圖上，有些訊號已有正式名字，「LD194」即為一例。當某一訊號上方有短橫劃時（如 CAS），這表示此訊號係以低狀態為啓動狀態（active low），另外所有的訊號名字皆以大寫字母印出。

## 波 形

當我們說某一數位訊號是在低狀態時，這表示它約為 0V，而當我們說它在高狀態時，它約為 4 或 5V。真正的電壓大小隨著不同的邏輯族，負載及電源電壓而有所不同。對典型的 74LS XX 邏輯族而言，低輸出將小於 0.5V 而高輸出則大於 2.7V。此同一族的電路可接受低於 0.8V 的輸入為低狀態及高於 2.0V 為高狀態，而 0.8 至 2.0V 中間的電壓則為未定狀態。

當我們說一個數位 IC 的輸出是高阻抗時，這表示此 IC 不推動任何訊號也不明顯地對任何訊號線構成負載。高阻抗狀態是三態邏輯電路的第三態；此三態為：低，高及高阻抗。有時我們將高阻抗狀態稱為閉止（off）狀態，閉止狀態可允許其他的 IC 進入啓動狀態並推動同一訊號線。

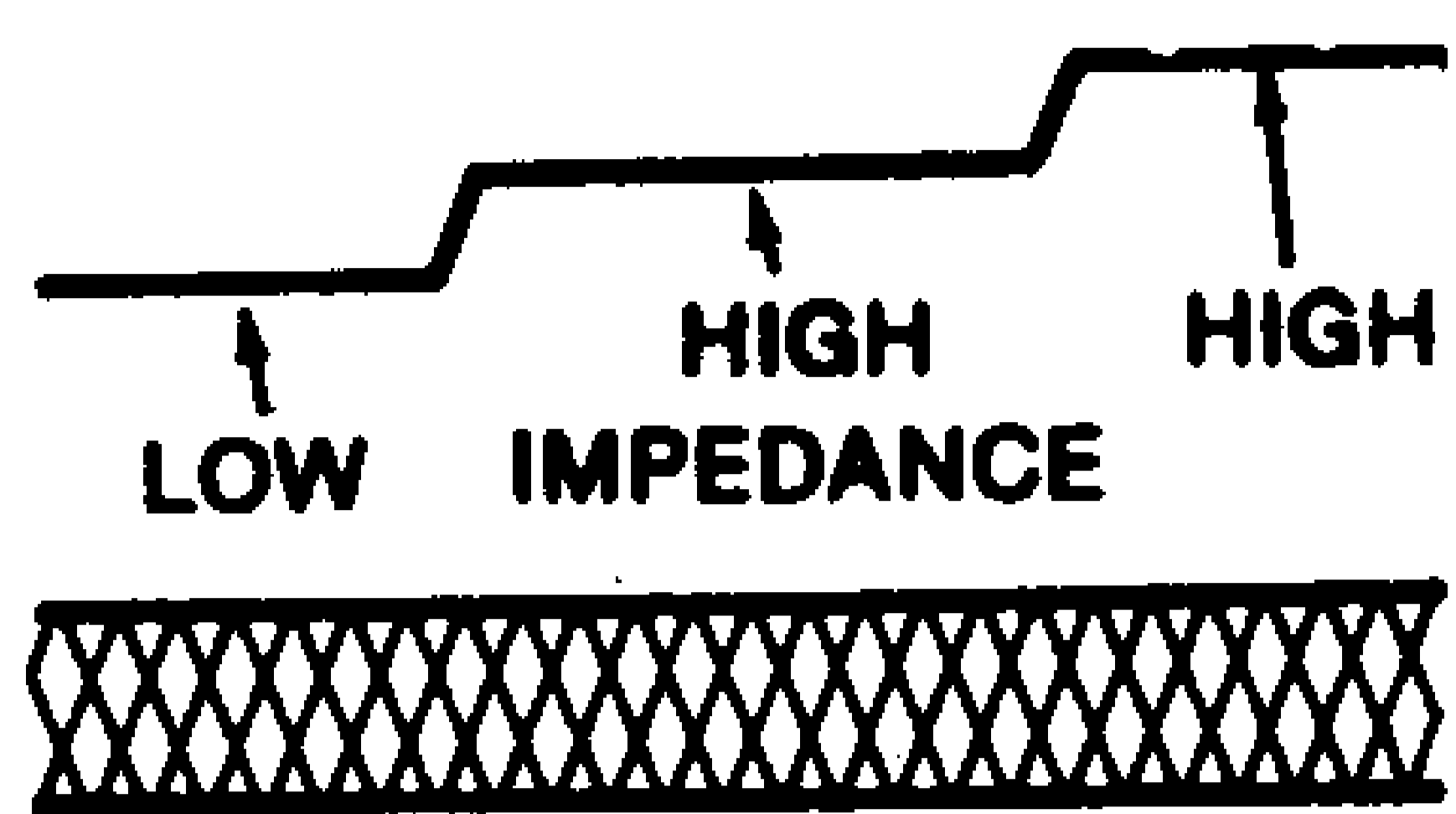
數位波形在垂直方面並不依照比例尺來繪，而是如圖 1.2 上面一圖般分出三個狀態，此圖的其餘部份係表示狀態轉換時的各種符號。

## 研究工作

本書的研究工作包含二個主要步驟：紙上分析及實驗證實。在第一步驟中，我們分析電路圖並確定電路動作及時序波形，第二步驟中，所繪的波形將被帶入實驗室並應用頻率計數器，示波器，邏輯分析儀及光筆記錄器加以證實。

上述二個步驟首先被應用於 Revision 3 非 RFI Apple II 上，後來則施行於 Rev.0, Rev.7 及 RFI Apple 上。單件式及二件式鍵盤波形亦經證實，故本書中所有 Apple II 電路波形皆已經實驗室證實。

## 6 APPLE II 電路分析



三個邏輯狀態。

未定狀態（即廢訊）。

在 A 和 B 中的某時訊號進入低狀態。

在 C 和 D 中的某時訊號進入高狀態。

在 E 和 F 中的某時訊號由穩定進入高阻抗狀態。

在 G 和 H 中的某時訊號由高阻抗進入穩定狀態。

在 I 和 J 中訊號穩定，其他地方則未定。

在 K 和 L 中訊號穩定，其他地方則為高阻抗狀態

在 M 和 N 中的某時訊號由高阻抗進入未定狀態。

在 O 和 P 中的某時訊號由高阻抗進入高狀態。

正方向的尖銳跳動。

圖 1-2 數位波形符號

## 名詞彙表

- ac —— 交流電流。
- 存取時間 ( access time ) —— 由觸動記憶 ( 以位址或時鐘訊號 ) 到輸出數據達到穩定的時間。
- 以高狀態為啓動狀態 ( active high ) —— 高狀態代表邏輯狀態 1。
- 以低狀態為啓動狀態 ( active low ) —— 低狀態代表邏輯狀態 1。
- AN —— 呼叫器 ( annunciator )。
- 結構 ( architecture ) —— 方塊圖。
- ASCII —— 美國標準資訊交換碼，此係電腦或週邊裝置所用的七位元或八位元碼。
- 遮蓋訊號 ( blanking ) —— 視訊訊號的一部份；在回掃時可關閉掃描電子束。
- 弓形連線 ( bow tie ) —— 具有弓形線樣式的 PC 板銅箔，可經切割而分離電路。
- 緩衝器 ( buffer ) —— 一個可增加訊號所驅動的閘數之簡單邏輯元件。
- 脈衝 ( burst ) —— 見色彩脈衝 ( color burst )。
- 匯流排 ( bus ) —— 可連接數個電路元件的一組訊號線。
- 位元組 ( byte ) —— 八位元。
- CAS —— 行位址激發 ( Column Address Strobe ) ( 將行位址送入 4116 RAM 的激發訊號 )
- 時鐘訊號 ( clock ) —— 一個經常重複的數位訊號，其邊緣係用來增加計數器及正反器的輸出。
- CLR —— 清除訊號 ( clear )。
- 色彩脈衝訊號 ( color burst ) —— 約為 3.579545 MHz 訊號的九個週期，此係出現於合成視訊中水平同步脈波之後，其作用則在使 TV 接收器中的色彩電路同步。
- 色彩消除器 ( color killer ) —— 彩色電視機中的一個電路，它可在接收到黑白訊號之後使色彩電路無效，其目的在消除黑白影像中的色彩雜訊及淡色，另外這也是 Apple II 中可在文字顯示方式中移去色彩脈衝訊號的電路，這使得電視機內的色彩消除電路可以工作。

## 8 APPLE II 電路分析

組合邏輯電路 ( combinatorial logic )——只包含閘的數位電路。

補數 ( complement )——二態邏輯中的相反狀態。

合成視訊 ( composite video )——包含影像資訊，同步及遮蓋資訊的視訊訊號。

CRT ——陰極射線管，監督器 ( monitor ) 或終端機通常都含有 CRT。

CTRL ——控制 ( control )。

De Morgan 定理—— $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$  及  $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$ 。

dc ——直流電流。

DMA ——直接記憶存取；週邊設備可不經微處理機而直接存取系統主記憶體的能力。

不予理會 ( don't care ) ——其狀態不影響電路動作的訊號。

動態——正確的動作依連續時鐘訊號或序列訊號而有所不同。

EPROM ——可洗去及可程式的 ROM。

等化區間 ( equalizing interval ) ——在垂直同步脈波前及後的視訊波形。

降緣 ( falling edge ) ——由高至低的訊號轉移。

FCC ——聯邦通訊委員會 ( Federal Communications Commission )

鐵心 ( ferrite bead ) ——可經纏繞而成電感的環形或圓柱形磁性材料。

取拿 ( fetch ) ——由記憶體中讀取。

場 ( field ) ——電子束所掃描的一個完整 CRT 面。

堅體 ( firmware ) ——ROM 中所執行的軟體程式。

旗標 ( flag ) ——儲存某一狀態的位元或訊號，例如開或關，預備完畢或預備未完成，設定或清除等。

框架 ( frame ) ——掃描電子束在 CRT 上所顯示的一個完整圖像；可能包含一個以上的場。

廢訊 ( garbage ) ——未定狀態或未穩定的數據。

尖銳跳動 ( glitch ) ——在邏輯訊號中的一個短而不需要的電壓改變。

高狀態 ( high ) ——約 4V 的數位訊號電壓。

高位數 ( high-order ) ——代表二進位數中較大值的位元。

HIRES ——高解析度 ( high resolution )。

保持時間 ( hold time ) ——時鐘訊號邊緣後的一段時間，在此時間中，正反器或其他需時鐘的 IC 之輸入數據必須維持穩定。

- 彩度 ( hue ) ——色彩的色度 ( 紅、藍等等 ) 。
- Hz ——赫茲 ( 每秒週期數 ) 。
- IC ——積體電路。
- INH ——禁止 ( inhibit ) 。
- 交錯 ( interlace ) ——二個或更多場的線在 CRT 面上交織以形成視訊  
框架。
- I/O ——輸入 / 輸出。
- IRQ ——中斷要求。
- K 或 k ——千 ( kilo ) ( 處理 ohm , hertz 時係  $\times 1000$  , 而處理記憶時係  
 $\times 1024$  ) 。
- KBD ——鍵盤。
- LORES ——低解析度。
- 低狀態 ( low ) ——約為 0V 的數位訊號電壓。
- 低位數 ( low-order ) ——二進位數中代表較小數值的位元。
- LSB ——最低位元。
- 光度 ( luminance ) ——彩色電視訊號的亮度或黑白部份。
- M ——百萬 ( Mega ) (  $\times 1,000,000$  ) 。
- 罩幕 ( mask ) ——使不予理會。
- 母板 ( mother board ) ——主要的邏輯電路板，週邊電路板可插於其上。
- ms ——0.001 秒。
- MSB ——最高位元。
- 以負為真 ( negative true ) ——以低電位代表邏輯 1 。
- NMI ——非罩幕式的中斷。
- 非交錯的 ( non-interlaced ) ——每一框架只由一個場組成的視訊技巧，  
即場與框架同義 ( 見交錯的 ) 。
- 非罩幕性的 ( non-maskable ) ——不能置之不理。
- nS —— $10^{-9}$  秒。
- 閉止 ( off ) ——三態邏輯中的高阻抗狀態。
- 開啓 ( on ) ——三態邏輯的低阻抗狀態 ( 0 或 1 ) 。
- OP 碼 ——運算碼；指令的第一個位元組。
- 開集極 ( open collector ) ——具有二種狀態的邏輯輸出：低 ( 約 0V )

## 10 APPLE II 電路分析

及高阻抗。

過度掃描 ( overscan ) ——由於電子束之掃描超過 CRT 的邊緣而失去圖像資訊。

PC ——印刷電路。

PDL ——槳狀桿 ( paddle )。

週期 ( period ) ——頻率的倒數。

像點 ( pixel ) ——圖像的元素。

以正為真 ( positive true ) ——以高電位代表邏輯 1。

PROM ——可程式的 ROM。

RAM ——隨意存取記憶體。

RAS ——列位址激發訊號 ( 將列位址送入 4116 RAM 的激發訊號 )。

RDY ——準備完畢。

更新 ( refresh ) ——經由連續的時鐘訊號而將動態 RAM 的數據維持在正確值。

REPT ——重複 ( repeat )。

RES ——重設 ( reset )。

回掃 ( retrace ) ——電子束在顯示一條線後回至 CRT 的左邊，另外電子束在顯示一個場之後回至 CRT 頂端亦稱之。

RF ——無線電頻率。

RFI ——無線電頻率干擾。

升緣 ( rising edge ) ——由低到高的訊號轉移。

ROM ——唯讀記憶體。

R / W ——讀 / 寫。

純度 ( saturation ) ——視訊訊號中的色彩純度 ( 紅較粉紅更純 )。

飽和 ( saturation ) ——線性裝置 ( 例如運算放大器 ) 在其線性範圍以外工作。

鋸齒波 ( serration ) ——在垂直同步脈波中數個窄脈波中的一個，此波係在垂直同步脈波中維持水平同步。

準備時間 ( setup time ) ——在時鐘訊號緣前的一段時間，在此時間之內正反器或其他需時鐘的 IC 之輸入數據需穩定。

Soft 5 ——將訊號提昇至 TTL 的高狀態電壓。



軟體開關 ( soft switch ) —— 一個可在軟體控制下加以設定或重設的暫存器，此暫存器可作為一個控制硬體的開關。

焊點 ( solder pad ) —— PC板上可焊接跳線的銅箔樣式。

STB —— 激發 ( strobe )。

副載波 ( subcarrier ) —— 調變主載波的載波，而副載波本身則由所傳送的資訊加以調變 ( 如視訊訊號中的色彩資訊 )。

SW —— 開關。

sync —— 同步。

傳送接收器 ( transceiver ) —— 一個雙向的緩衝器。

TTL —— 電晶體—電晶體邏輯族。

UART —— 通用非同步傳送 / 接收器。

V —— 電壓。

$V_{be}$  —— 電晶體中基極和射極間的電壓，對於向前偏壓的電晶體而言，此電壓約為 0.6 V。

等待狀態 ( wait - state ) —— 插進微處理機正常週期中的一個額外時鐘週期；通常用來適應長存取時間的週邊設備。

\$ —— 表示一個十六進位，如 \$ C0FF 。

$\mu s$  ——  $10^{-6}$  秒。

$\phi$  —— 相位。

+ —— 邏輯中的 OR。

• —— 邏輯中的 AND。

- —— 邏輯中的 NOT (  $A = NOT A$  )。