

新式電腦音樂合成器

高中組應用科學科第一名

國立師大附中

作者：葉清心

指導教師：黃明珠



一、製作動機：

電子合成器在今日樂壇扮演著重要的角色，可惜操作繁雜，而電腦音樂所用的音樂合成器之功能大都稍嫌簡單，故雖然是電腦控制，但其音色因受到硬體之限制，不能有多大的伸展度。基於以上兩項缺點，加上今日電腦科技的發達，於是設計了這部新式電腦音樂合成器。

二、整體結構：

本機之整體方塊圖如圖一。它包含了兩部微電腦一為主電腦，它

控制整個系統，並負責演奏音樂。但它並不負責聲音的產生工作，而是命令另一部微電腦（聲音處理器）來執行此項工作。聲音處理器控制15頻道的音樂合成器間接產生聲音。

三、製作過程：

(一)主電腦：

1. 採用 Z-80 ACPU 4MHZ，Z-80 AC TC 做為計數或節拍計時器，另可做為非 Z-80 家族週邊裝置之中斷裝置。ROM 12K RAM 2K。
2. 48K 動態記憶器 (DRAM) 為擴充記憶板當主 CPU 之中心讀寫記憶 (RAM) 不夠時之擴充用。
3. 鍵盤有 40 個鍵成 10×4 矩陣，顯示器為 9 位共陽 LED 可顯示 O - F 及特殊字形。
4. 音樂鍵盤成 10×8 矩陣，一次最多可接受 15 個鍵。(如圖二)
5. 電源供應器供應下列電壓

+5 V	6 A
+12 V	1.5 A
+24 V	0.5 A : 燒 EPROM 時之用
-5 V	1 A
-12 V	1 A
6. 週邊裝置如 EPROM WRITER, DISK DRIVER, DAC ADC, TAPE

(二)聲音處理器：包含了 Z80A CPU, 12KB ROM 16KB RAM CUP 直接或間接 (透過復配器) 地控制 15 個音響合成器產生聲音。

(三)復配器：音樂合成器中有某些控制因數是數位化的可直接與 CPU 的 BUS 相接，至於必須用線性訊號控制的部門，CPU 便不能用 BUS 來直接控制，而必須將數位控制數碼放入復配器的 RAM 中，復配器再將這些資料一個個取出經 DAC 轉換成成串的電壓，然後再分配至實際需要控制部分的線性保持部。(附圖三)

(四)音樂合成器：其單一頻道之結構方塊好圖四：

線性保持部 710 接收到復配器所給予該頻道的 5 個控制電壓，經電容及運算放大器所構成的電壓保持電路（如圖五）再分別接到 VCO, LPF, VCA 之控制端。再看圖四，VCO 71 (VOTAGE—

CONTROLLED OSCILATOR) 可根據控制電壓高低產生高至 2.6MHZ 低至 OHZ 之頻率。DCO72 (DATA—CONTROLLED OSCILATOR) 則將 VCO 產生之頻率 f_0 除以 N ($1 \leq N \leq 65536$ 或 $2^8 \leq N \leq 2^{16}$) 而得到另一個頻率 $f_1 = f_0 / N$ 。此 N 值是由兩個 8BITS 的二進位碼所構成。 f_1 經過一個 4 位的二進計數器 (COUNTER) 得到 f_2, f_3, f_4, f_5 ($f_1 = 2f_2 = 4f_3 = 8f_4 = 16f_5$) 輸出，這四個訊號聯同 f_1 共 5 個訊號線接在 RAM 74 (RANDOM ACCESS MEMDRY) 的 5 條位址線上，週期性地選擇 32 個位址 (2^5) 的資料輸出，這 32 個資料經過 DAC (DIGIT—ANALOG CONVERTOR) 變成一個波形其頻率 $f_6 =$

$f_5 = \frac{1}{16} f_1 = \frac{1}{16N} f_0$ 。其中 RAM 的容量為 1024 BYTES，構成

32×32 矩陣，所以一次最多可存放 32 個沈形。這 32 個波形是經 LATCH₁ 76 LATCH₂ 77 至 RAM 的 5 個高位址來選擇的。在波形產生當中，若 CPU 更改 LATCH₁ 之值時，則當波形產生一週完畢之後控制電路（方塊圖略之）會將 LATCH₁ 之值鎖入 LATCH₂，此時 RAM 之高位隨之改變，所以下一週產生的波形即為另外一個波形而非原波形，如此便可達到波形之時變性，前述之 RAM 的資料（或可說是波形）是 CPU 預先經 I/O PORT 存入的。

DAC 輸出之波形包含了掃描的 16 次諧波，所以必須用 LPF 701 加以濾除，變成一同平滑的波形，進入第一個 VCA 702 做振幅控制 (ENVELOP) 再送至第二個 VCA 703 做音量控制 (VOLUME)。其輸出聯同其他各個頻道的輸出入混音器混合每個頻道的聲音，再經音頻放大器推動喇叭。

四、工作原理：

(一)聲音處理器：

由於聲音處理器不直接產生聲音，而是控制產生聲音，所以同時控制15個音樂合成器產生聲音遂為可能，由於每個頻道都有一個音色控制，（即控制 LATCH）及5個線性控制音素15個頻道就有 $6 \times 15 = 90$ 個控制音素，聲音處理器的主要任務就是產生每一個控制音素。茲將各個控制因素與各裝製的關係圖解於圖八其中 DCO用以產生音高，LPF隨音高而改變，VOLUME CONTROLLER控制音量，此三者不必具有時變性，故略之。

(二)主微電腦：

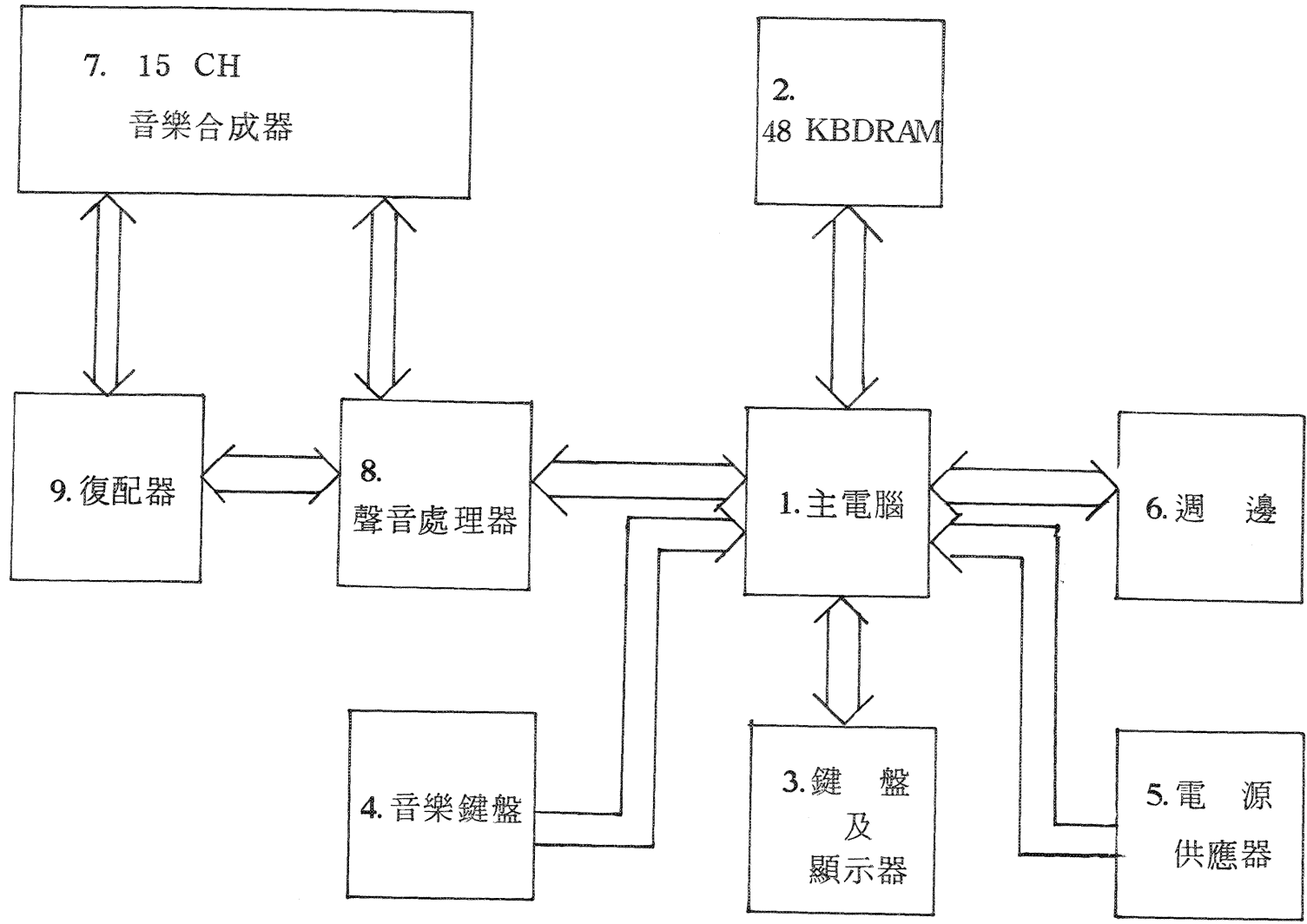
1. 前面已說過，聲音處理器完全擔負了聲音的產生工作，所以主電腦本身就不必花時間在聲音的產生上面，而只負責演奏，即命令聲音處理器發音，等到演奏節拍數完了之後再命令其停止發音。由於此因加上CPU之高性能及高速處理（Z-80A 4MHZ），於是用它來演奏15頻道的音樂每一頻道相對應一個音樂合成器。自動演奏是用Z-80A CTC做節拍器，它產生相對於 $1/16$ 拍波寬的脈衝（波寬可由程式控制其大小其中間值大約為 $\frac{1}{16}$ 秒）以通知CPU。開始演奏時，CPU每取到一個音高碼時即將其送至聲音處理器產生聲音之後。CPU繼續取碼。必須取到音長碼（音長確為00~8D，90，AO，BO，CO，DO，EO，FO，第一個16進位碼表1/16拍拍數，第二個16進位碼表1拍拍數，如2A表 $2\frac{10}{16}$ 拍）後方停止取碼，然後將此碼放入該頻道的計數暫存器（COUNTER）注意，每一頻道皆擁有一COUNTER等到所到所有頻道皆依此做後CPU恢復正常工作，此留待下一段討論。等到CTC產生脈衝之後（這表示已過1/16拍），CPU便將每頻道的COUNTER減一，若等於零，表示該頻道有一個音已演奏完畢必須演奏下個音。此時CPU

執行取碼的工作，若 COUNTER≠0 表該音尚未演奏完畢。等到所有頻道皆依此處理完畢之後，CPU 又恢復正常工作。直到下一個脈衝到時再執行演奏的工作。由此看來，這 15 個頻道可說是獨立演奏。上述乃其原理，實際上尚有些細節。

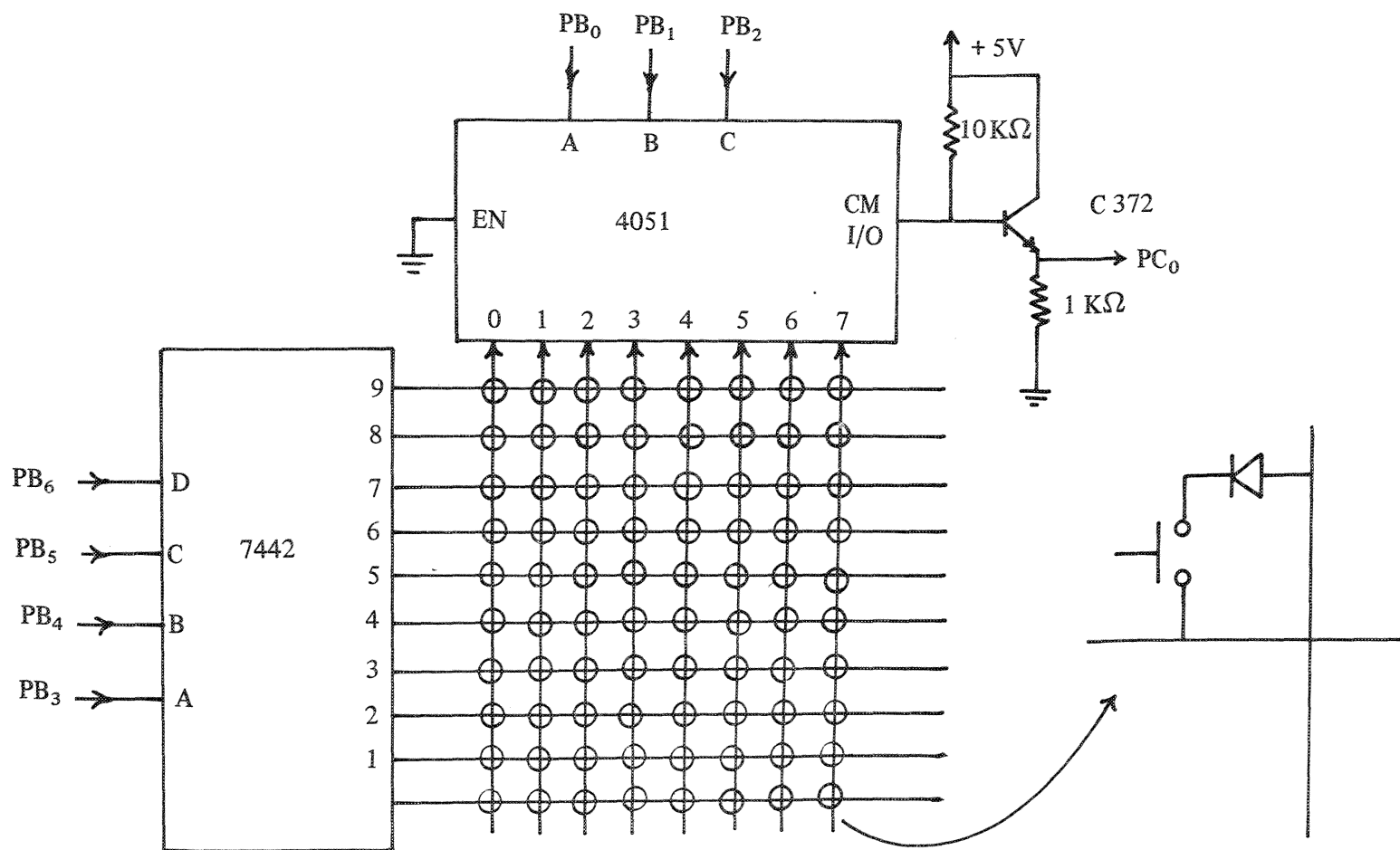
2. 如前一段所述，演奏音樂之程式是屬於中斷程式，每 1/16 拍中斷一次。CPU 在正常工作時是不斷掃描顯示器、鍵盤及音樂鍵盤。所以在自動演奏時亦可享受彈奏之樂趣，或是作曲及其他工作。

五、結 論：

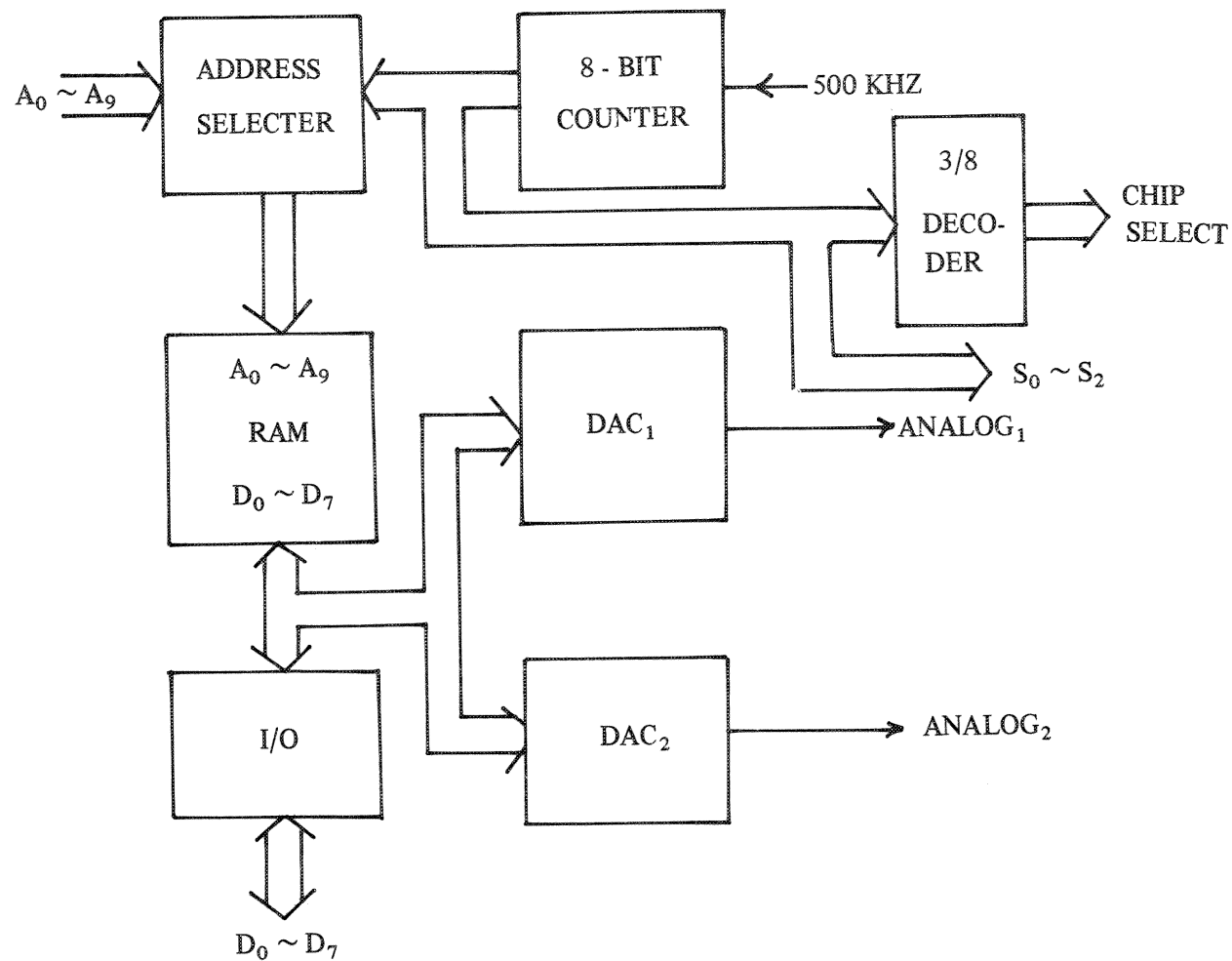
傳統電子琴要產生一種聲音必須用一個濾波器，這是相當麻煩的事，電子合成器模擬某一聲音時必須調整數十個控制扭，這是很費時的。雖然有某些廠商在這方面開發了大型積體電路 (LSI) 且可直接由電腦控制，儘管它們在演奏技巧可超越電子琴或電子合成器，可是音色變化太少。由本機的分析，可知它已突破了上述的諸缺點，從音樂合成器來看，波形產生器幾乎可產生任何波形，在頻率方面，VCO, DCO 的結合使得調變容易，頻率準確，除此外，注重各音素之時變性，也是本設計之特點。在音樂的演奏方面，15 個演奏頻道配合 15 個音樂合成器，且每個頻道裝置了一個音量控制器，所以可以模擬樂團效果。



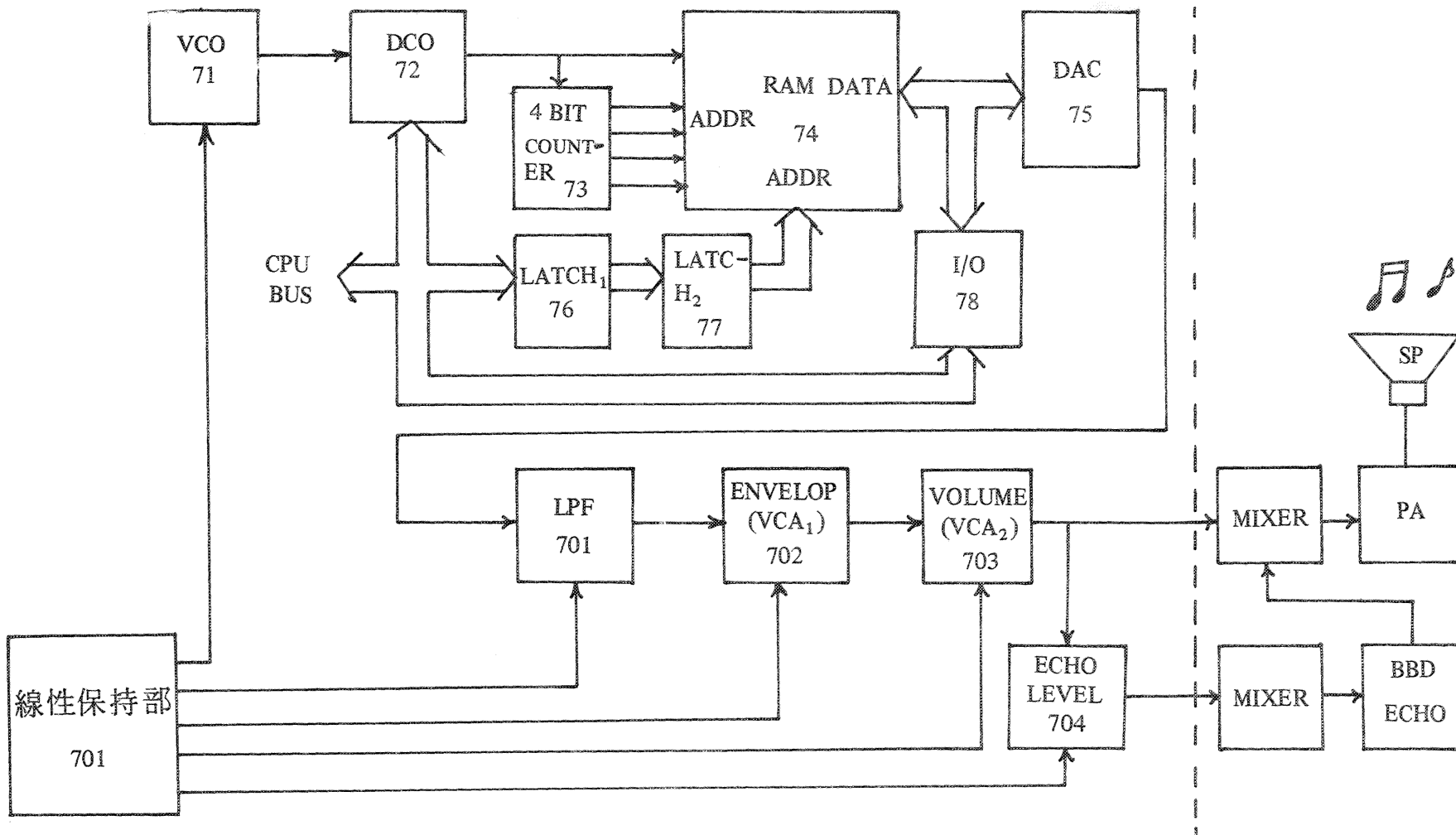
圖一 整體方塊圖



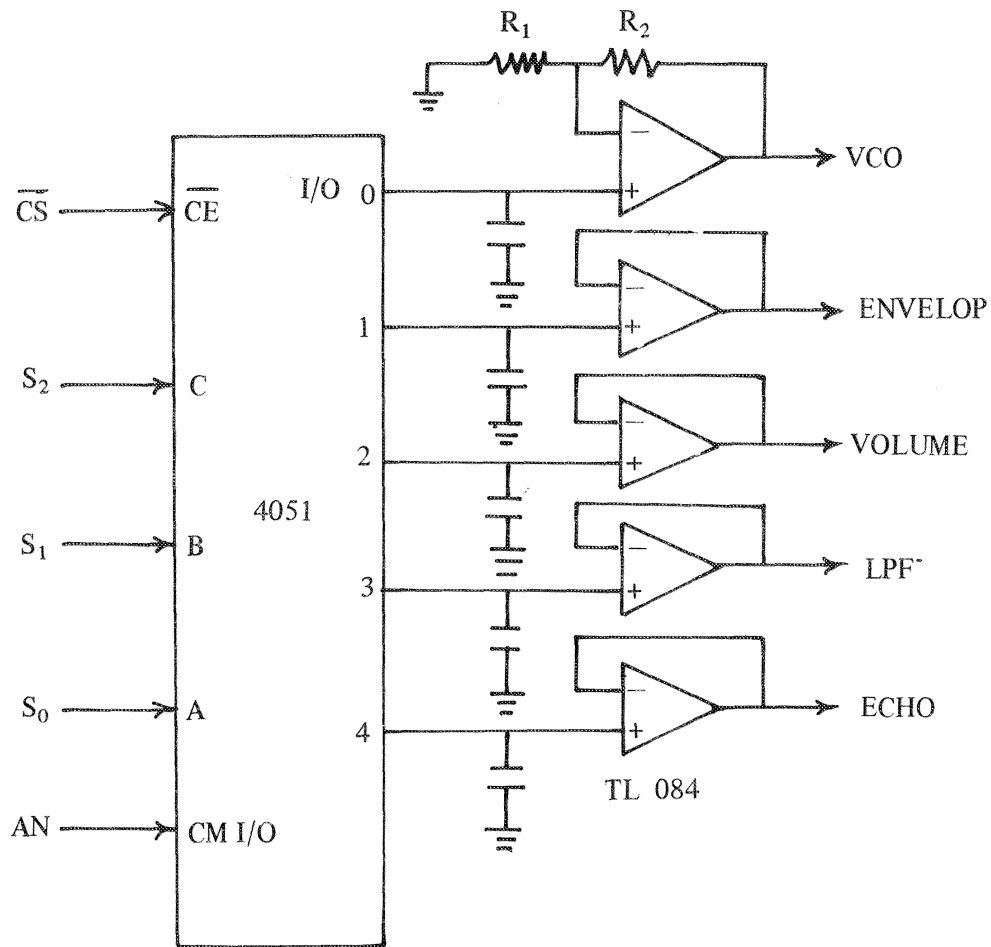
圖二 音樂鍵盤的組成 (PB與PC為I/O PORT、二極體為避免多鍵同時按下時之錯誤情況)



圖三 復配器方塊圖 (爲使復配週期減小故用 2 個 DAC 同時進行復配)



圖四 單一頻道音樂合成器（虛線以左）



圖五 線性保持部 (由於 AN 之電壓在 0 ~ 5 V 之間而 VCO 之控制電壓必須在 0 ~ 10 V 之間故用 R_1, R_2 將 VCO 之電壓提升 1 倍)

評語：

取題頗富創意，研究精神可佩，方法、程序甚佳，為不可多得之佳作。