

B-80 完全無負回授綜合擴大機 設計概要

就從回授談起

數十年來，回授一直扮演著非常重要的角色，即使是在電子學的領域回授依然是個值得深入探討的主題。事實上，很難想像再任何一實際的電路或系統中沒有回授，結果會變成怎樣？設計者運用回授技術將各種電路特性如增益、輸入阻抗、輸出阻抗、頻寬...等作精確的控制，同時也改善零件參數對電路所產的敏感變化。

無論放大器的型式為何，回授均會影響其性質。負回授可降低放大器的非線性度（失真），改進輸入與輸出阻抗、擴展寬頻、使增益穩定且受控制、降低放大器對零件的靈敏度（尤其是電晶體的參數）。這些特色通常都是放大器設計所想要達成的目標。

曾幾何時回授變成音響放大器的萬惡根源？導致無負回授之各大行其道，回授到底出了什麼問題？又無負回授的真相為何？且讓我們進一步來探討。

回授與TIM（暫態互調失真）

自從IHFM（Institute of High Fidelity Manufacturers、Hi-Fi製造商學會）於1959年公佈了音頻擴大器測試辦法 IHFM-A-200。音頻擴大器的測試有了一定的規範，該組織鑒於音響科學的快速發展，Hi-Fi之規格測定必須更加嚴密，於1978年頒布了最新的音頻擴大器標準測試方法（Standard Methods of Mesurment for Audio Amplifier）IHF-A-202。其中新訂了一項特性為暫態互調失真TIM（Transient Intermoduration Distortion）。之後TIM便一直被重視著，而分析TIM的來源卻與回授有著莫不可分的關係。

現今流行的SEPP（單端推挽）電路設計，大多採用首至尾式的綜合負回授來控制放大器。亦即信號輸入後，逐級放大直到輸出端，其開環路增益可能高達70dB（三千多倍），然後才經過一組負回授網路回授20~40dB的訊號至輸入級，使閉環路增益控制在30~50dB之間。

三千多倍！如此一來，即使輸入的訊號為0.1v輸出也有300v以上。而半導體化的放大器其電源供應頂多100v以下，因此產生嚴重的峰值過荷失真。然而負回授產生的時間是稍遲於放大器本身的開環路放大時間，也就是說輸出波形先出現過荷後才受到負回授的修正。這種過荷所產生的暫態失真，越是高頻所受的影響就越大。

無獨有偶的是，在寬頻帶且具有一定深度回授量的放大器，往往由於高頻相移落後所產生的不穩定、甚至震盪的現象，必須在線路中加入中和電容來強制抑制可能產生的震盪，而這個電容回授卻是TIM的致命傷。

雖然回授可降低放大器的非線性失真（在有條件之下），但附帶而來的TIM卻令人難以忍受，再加上非線性失真與聽感並非絕對值，也就是說THD（總諧波失真）越低無法代表越悅耳（如真空管的THD都不低卻依然能有一定程度的悅耳聽感），這使得TIM變成音響公敵，而去除TIM的最佳利器便是無負回授，致使無負回授之名不脛而走。

無負回授的真相

80年代已有許多深厚的設計師深知此相關因素，並且發現從輸出級拉回輸入級的綜合負回授還帶來了另一項重大問題：揚聲器的反電動式將透過回授網路回輸到輸入級一併被放大，對音質產生的汙染。於是陸續有人提出無負回授的觀念，可惜的是在數位發達的80年代，科學家為了更大的市場不得不轉戰數位工業，留下一知半解的商人濫用無負回授之名。

一、終端無回授：

將放大器區分為AV電壓增益區塊與AI電流增益區塊，而且僅在AV區塊回授。

由於回授取樣點不從最終輸出端取樣，因此喇叭的反電動式效應無法透過回授網路回輸到輸入端，使訊號放大不受到反電動式效應的汙染，然而有些問題依然存在。

AV的開環路電壓增益可以是數百倍也可是數千萬倍。增益越高經回授網路的控制有助於非線性失真的抑制，在早期為了降低THD，提高開環路增益幾乎是不二法門，然而此法卻也助長的TIM的發生。

在1978年W.Marshall Leach設計了Low TIM放大器，提供了一個不錯的設計原則。

歸納其設計要點如下：

- 1、全對稱的電壓放大級。
- 2、每一電壓放大級均施予本級回授，並設法降低各級本身的失真。
- 3、使開環路增益降低至數百倍左右。

4、輸出級採用射級輸出，使其AI增益極高，並且寬頻極寬。

5、採用高截止頻率 f_T 、高耐壓 V_{ce0} 、低接合電容 C_{rb} 的電晶體。

6、提高回轉率（Slew Rate）。

二、Nonfeedback非回授式：

完全捨去首至尾式的綜合負回授改採各級自我回授。

這種作法大幅的改善TIM失真但也同時衍生的設計上與製造上的困難，由於無法仰賴回授得到可計算的控制，電路將呈現不穩定、頻寬受限、THD無法受到回授 β 的抑制...等，唯一的解決之道，僅能選用理想的電晶體並設置其最理想的工作點，施予PCB的精密佈局與溫度控管，盡量使線路穩定。而精配每一個元件曠日廢時，導致量產極為不易。

總合前面所言，THD與聽感愉悅與否無絕對關係，加上TIM失真的大幅下降，Nonfeedback（有人稱為無回授）呈現出不同於以往設計的美妙聽感。

他山之石

Nonfeedback的設計與製造有一定的難處，想要量產得克服多重障礙。然而從未有人清楚定義終端無回授與Nonfeedback（完全無負回授），因此完全無負回授之名大行其道，商人廣用完全無負回授之明行回授之實。其實回授沒有什麼不對，Nonfeedback更可說是不值得探討，兩者都能達到絕佳的表現，端視如何設計與用什麼態度去製作。人云亦云不可取。

B-80的設計對策

由於Nonfeedback的機種在市場上極為稀少並且昂貴，這使我們燃起了想挑戰Nonfeedback設計於平價機種實踐的可能。

如同設計A-15一般，我們不能因平價而隨便設計，反而為了更多樂迷，我們必須投注百分之百的心力來設計。

一、Nonfeedback就是Nonfeedback

正統的無負回授，採用各單級自我回授的方式完成B-80的心臟（主放大線路）設計，由於放大的增益無需太大，因此我們採用兩級電壓放大，並採取全對稱方式與A類工作點設計，力求每一級能擁有絕佳的低失真表現與寬廣的動態範圍及頻寬響應。實際測試結果B80之頻寬可達660KHz。

二、SBCA

為了使輸出級（第三級及第四級電流增益級）擁有低失真，純A類幾乎是最好的選擇，然而以100W的平均輸出功率而言，每聲道近400W的消耗功率所產生的巨熱，無疑是最大障礙。這會使散熱片需無限上綱的增加、電源供應的能量需要更強，成本勢必高居不下。這樣將事與願違，於是我們設計了同時相偏置動態A類（Synchro-bias class “A”）來對應。雖然SBCA無法完全像純A類那樣面面俱到的完美無暇，但在兼具合理成本與九分像的表現能力之下，這種作法是權宜之計。SBCA的設計使輸出級幾乎保有純A類的低失真且沒有純A類的高熱，同時符合綠能須需求。

同時相偏置動態A類（SBCA）其原理就是當訊號為正半波輸入時，NPN晶體處於工作狀態，從輸出端引一支流取得取得適當電壓，將此電壓供應給 PNP晶體偏壓，使PNP晶體不截流，保持工作等待負半波的來臨。反之當為負半波時，則供應給NPN晶體，因此不論NPN或PNP晶體永遠都工作於恆定偏置的工作點上，由於晶體不截流，因此去除了擾人的晶體轉換失真。

由於無法仰賴回授來降低失真，再加上輸出級必須面對惡劣的工作環境（驅動阻抗非恆定值的負載喇叭）B-80 Nonfeedback的線路對策便是設計一組本身具有低失真與強驅動力的輸出級。

三、D.C.Servo 直流伺服

其實D.C.Servo也是一種回授，只是用我們運用線路技術讓這組回路僅工作於1Hz以下，也就是當輸出有任何直流漂移產生時D.C.Servo才啟動，將輸出控制在0電位。這個動作非常重要，當輸出漂移時，代表電路不再保持平衡，如果放任不理則失真會俱增，最終喪失了放大器應有的特性。為了達到精確的控管，這部分採用運算放大器設計。

四、JFET場效應電晶體

高輸入阻抗是放大器的基本需求，雖然JFET比BJT（雙極性電晶體）貴上許多，在配對上也比BJT麻煩，但為了良好的特性這點投資是值得的，就動態範圍而言，BJT大多僅在1V以下，而JFET則可輕易達到十於伏特，況且JFET的 I_g 非常小，而直流輸入阻抗更高達數M歐姆，在Nonfeedback的設計中這是相當重要的。當然JFET並不是沒缺點，就寬頻而言JFET可能比不上BJT，因此我們在輸入級放置了複合結構，也就是JFET串疊BJT，加上我們選用了低 C_{iss} 的JFET，使輸入級的寬頻輕易的超過1MHz。

五、LAPT多發射級功率晶體

B-80為100W輸出能力的放大器，我們選用輸出能力超出甚多的多發射級功率晶體來對應。200W的輸出能力與17A的電流，2SA1216與2SC2922確保了合理的驅動能力。這對在高級音響中頗受讚譽的功率晶體，使用在Nonfeedback的設計裡更顯得貼切，因為2SA1216與2SC2922在實際測試下能有效降低奇次諧波的比例，雖然負面的看法是其偶次諧波失真略高，但對聽感而言這偶次諧波反而帶來更溫厚的音樂氣息。

六、高規格的零件配對

如前言，當一部放大機無法仰賴負回授時，爲了使線路正常工作，選用優秀的原件並且個別配對是必然的條件，但曠日費時之下也代表著人力成本的急劇耗增。

從A-295、A-50至今我們便一貫實施著零件分級制度，所以有入廠的原件都會被精密分級，因此這些配對的人力成本會被產線上的各機種分擔，況且這已經是我們一貫的作法與風格，叫我們昧著良心我們還真作不來。

七、PCB佈局

除了晶體及零件精配，PCB的佈局也是重要關鍵，Nonfeedback就如同運算放大器工作於開環路增益一般，任何風吹草動對開環路放大器而言都是大地震，即使機箱隔絕了線路本身與自由流動空氣所產生的溫度差異，但通電後的電子零件在某種程度上都會產生一定的熱能，因此必要設法將它們區隔化，而某些對裝原件對溫度的相對誤差要求甚高，必須將它們儘量集中，甚至是綁在一起，其它諸如潛佈電容、星形接地、單元化鋪銅地網等，我們都竭盡所能的要求完美。至於大家所關心的最短路徑，這只是最基礎。

八、機械震動

爲了達成平價預算的目標，已經不可能再有多餘的預算來處理機械震動問題，但我們仍不放棄，畢竟降低振動因素對聲音確實有正面幫助。

震動來源大致有二：

其一是機箱外部經由空氣或物體介質傳導而來（例如揚聲器所產生的空氣震動，或經由音響架傳導而來）。

其二為機器內部的零件震動（如變壓器本身的振動）。首先我們採用1.6mm的鋼板並且施予口字無縫接合加工強化其鋼性結構。再者，B-80改採三足式腳墊，將質量最高也最重，

也是機內最大震動源（變壓器）至於機內的中央，而變壓器的正下方即是主要導震點（中央腳墊）。如此可大幅降低機箱的聚合諧振，使PCB的震動係數降到最低。

九：增加附屬功能

B-80除了是一部綜合放大機，也是一部多聲道控制中心。多聲道！不管音響迷喜歡與否，不可否認它都是未來可能的趨勢，越是平價機種，我們認為它的功能就必須越完整。

在B-80內部我們獨立出一個區塊，專門處理其他多聲道訊源的前置音量控制。它有完整的前級處理線路，連電源都是採取獨立供應，這個附屬前級其音量控制將與B-80的兩個主要聲道同步運作，您只需要將多聲道訊源一併送至B-80，主聲道可由B-80負責驅動，再將其他處理完的訊號（如後左、後右、中置聲道、超低音）分別送至B-100（純後級）與超低音，如此即可完成高品質的多聲道系統建構。

當然B-80本身也可當純後級使用，與Av擴大器混合使用，一方面可讓劇院的驅動能力更強，更可使純音樂訊號源（如CD）得以最單純的被放大。

成本結構與評價思維

常看到許多機器，披著漂亮的外衣而骨子裡不值一晒，其售價卻高不可攀。

到底我們買的是能重播高品質聲音的音響器材，還是有聲音就100分的裝飾品？音響的價格迷失，自古至今，很少人能跳脫。

無法對價的聲音關係：

當然大部分的音響器材其表現都有一定的水準，然而有些平價器材甚至比某些號稱頂級音響更具有內涵。其實這都是拜科技所賜，對包裝（泛指機箱外觀、包裝資材、廣告文宣）而言，零件相對不再昂貴，務實的廠家會把線路特性及聲音表現先要求好，再求包裝的華麗度。可惜的是在普遍注重虛華外表及名牌導向的今日，這些廠商在經營上不見的吃香。

諷刺的是！在美麗糖衣的包裝之下，觀其內在，我們偶爾會看到一些了無新意、甚至是用廉價功率IC搭配一些五顏六色名牌零件，在廣告文宣的強力吹噓之下，迷惑著消費者。由於它的昂貴，加上媒體評論者不敢實話實說，導致沒人敢直言它的不好。如果閉上眼睛捫心自問，用耳朵的直覺來評其聲價，與一台富有內涵的平價機器相比，也許你會驚覺！到底它貴在哪裡？又貴的值不值得？這種問題在喇叭市場尤甚明顯。

放棄奢華、去繁為簡

顯然的B-80遇上了一個大障礙：成本問題。

我們必須再想出對策，否則B-80將離平價越來越遠。

首先：去除昂貴的裝飾面板，改由一體成型的設計。不論CNC或開製面板模具，這筆開銷都勢必不小。而裝飾面板說穿了不就是一種包裝嗎？有它沒它其實對聲音品質沒有影響，頂多只是增加視覺效果與附加價值。吾等寧可將這些成本運用在更好的零件素材上。

其次：簡化機箱組件與加工程序。任誰都清楚，加工程序越繁瑣其成本越高。令人難以致信的是B-80機箱設計到最後僅是兩片1.6mm的鋼板組合而成。

當然我們不能一味的降低成本而不顧及美觀與否，一堆廢鐵就算有再好的聲音品質一樣難登大雅之堂。於是我們用最簡單俐落的筆法勾勒出不拖泥帶水的外型，帶有一絲前衛的造型又不失應有的莊重，這是我們對B-80的期望。

該講究的，一項都馬虎不得。

除了前述的線路概念必須精確的實踐之外，對於零物料的選用我們同樣抱以高規格的態度來執行。如環型900VA變壓器、特製25A高速橋式整流二級體、日本NIPPON Chemi-Con高速濾波電容、BC金屬皮膜旁路電容、WIMA交連電容、NS For Audio IC、金屬皮膜電阻、白金接點電繼電器...等。

在配置上：左右聲道獨立供電，甚至全機動用了11組穩壓線路。如此陣仗，目的無他，就是為了使聽者體驗無與倫比的聲音美學。這是我們的誠意也是一貫的態度，在此也請您與我們一起打破以往平價的思維。

搭配：

由於對價觀念與現實環境的關係，我們很清楚的意識到平價擴大機想要真正發揮實力的機會並不多。就如同A-15其純A類的完美特性，沒有多少人能真正體驗它的醇美。它的問題不在好不好，而是功率不大與平價的制價策略，雖然我們一再呼籲，請使用者將A-15搭配90dB以上的優質喇叭，但環顧喇叭市場，平價又能擁有90dB以上的優質落地喇叭實在難得。這等於抹煞了A-15大顯身手的機會。在本公司聆聽室的參考系統中，MISSION的Pelastro幾乎是喇叭市場中最難應付的一對喇叭之一，而它的高效率與A-15與卻是絕配。

然而在價錢上卻是天壤之別，Pelastro要價150萬，與2萬元的A-15怎麼想也門不當戶不對，但它們的組合所成就的氣度，著實令人難為外人道也。而這卻是我們設計A-15的初衷，我們期望您把喇叭的挑選與預算擺再第一位（畢竟喇叭還是目前音響工業最弱的一環）。只要喇叭設計得當，A-15必定能將它最美的一面呈現出來，而無需昂貴的擴大機預算。

往往事與願違：這種極另類的搭配除非深諳音響技術之人，大多數人並不會這麼做。現實環境中A-15大多以搭配中低效率之中小型喇叭為主，這激起我們對B-80其驅動目標必需設定在合理的無堅不摧。100W的功率足已推動任何中低效率的小喇叭（當然推高功率的優質喇叭更是理想），而B-80的Nonfeedback與Low TIM Distortion也將使您體驗前所未有的美妙音色。

為了更靈活的搭配，B-80配制了2組44dB增益與1組34dB純Nonfeedback放大的選擇，兩種聲底將有所不同，目的用以對應不同空間與喇叭特性。而適量的人耳等量曲線可調，有助於書架小喇叭在高低頻平兩端延伸的輔助。

不計成本，製造一部驚天動地的機器是設計家的夢想，但要在有限的成本預算內完成一部理想的擴大機，有著其不同且難度相當的障礙。實踐比空有理想更可貴，Amtech將永遠站在務實態度上實踐不可能的任務，而Amtech實現務實理想的生命不是由我們一方來決定，更需要您的支持。