

全面普及的音訊技術

■作者：Colin Davies/Diodes 公司歐洲應用經理

隨著半導體產業整合程度日趨完善，電子產品尺寸逐漸縮小，效能卻不斷增長。用戶體驗因此持續改善，而裝置實體尺寸也已不再有決定性的影響。各類產品音訊及視訊介面的改良趨勢，則促成了目前的產業模式。

為小型可攜式裝置的用戶介面添加高保真音訊功能，將能帶來諸多好處。裝置不再發出單調的提醒聲，而是以當地語言清晰提供指示，實現「免視」操作的用戶體驗，適合消費性、工業及醫療等產品應用領域。隨著 Amazon Echo 和 Google Home 等數位助理問世，人們逐漸接受自然語言技術，並且習慣與之互動。

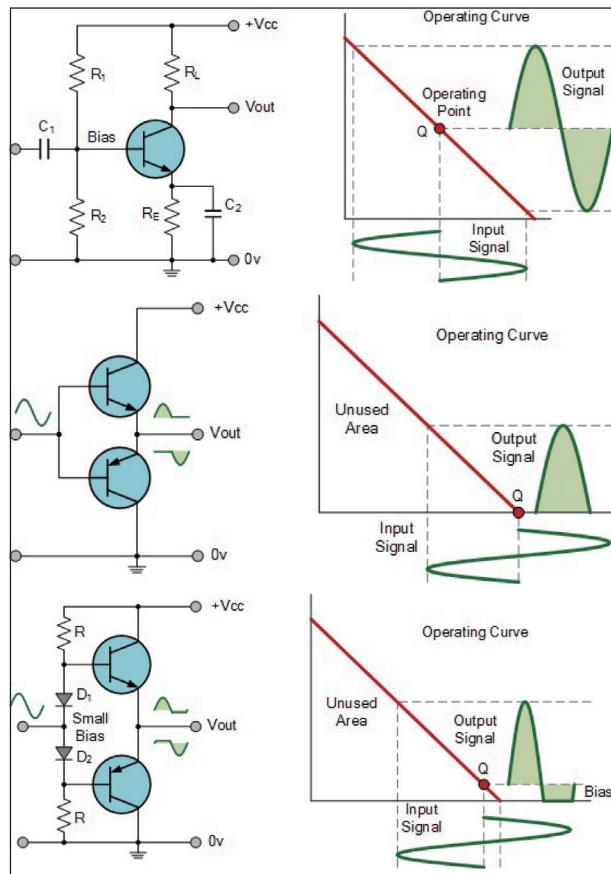
數位助理會在雲端執行深度學習演算法，藉以理解指令並使用當地語言音訊做出回應，而搭載這類技術的產品應用，需要的不再只是麥克風和揚聲器而已；挑戰在於，必須為更小的裝置添加高品質的音訊功能。

偏壓切換

音訊放大器因應人耳對雜訊和失真的敏感度，結合了正規放大器的若干設計特性。基本上，所有放大器皆在類比電域中運作，因此本身屬於線性裝置，可以提供穩定增益、降低失真。透過偏壓設計，放大器所配置的電晶體運作特性可以改變，進而實現三種主要的線性放大器：A 類、B 類或 AB 類。

每種放大器各有優缺點，可讓工程師在保真度和效率之間均衡取捨。例如，A 類放大器僅採用一個電晶體，即使輸入訊號為零亦能獲得偏壓，線性度雖佳，但效率極差。B 類放大器配置兩個電晶體，分別導通半個週期，無論何時只有一個電晶體處於導通狀態。此類型雖然效率較佳，但兩個電晶體交

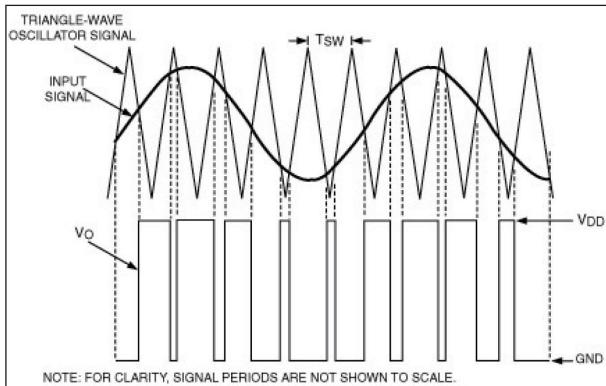
圖 1：三種主要的線性放大器



替開啓或關閉時會導致失真；這就是所謂的交越失真。但開發人員發現，只要稍微調整偏壓，就能大幅減少交越失真，因而開發出 AB 類放大器。圖 1 顯示三種線性放大器的比較。

雖然 AB 類放大器系統能實現 80% 左右的高效率，但耗損也隨之增加；為了克服這個問題，非線性（或稱切換式）放大器的構想應運而生。切換式放大器的電晶體處於完全導通或完全關閉的狀態，而非部分導通或部分關閉。這項設計的數位化程度遠高於其他類型，在操作上的各方面也與交換式電源有密切關聯。切換式放大器理論效率為 100%；而

圖 2：D 類放大器運用 PWM 呈現輸入訊號



在合理的輸出功率下，實際效率則可達到 90%。切換式放大器的這些特性，格外獲得小型或可攜式（電池供電）裝置開發商青睞。

然而，切換式拓撲也有自身的挑戰必須克服。有別於平順放大的輸入模式，其輸出為脈波寬度調變 (PWM) 方波，必須轉回類比波形，才能準確呈現輸入訊號。

剖析 D 類放大器

在音訊產品應用中，最常見的就是 D 類放大器拓撲。要使 PWM 呈現輸入訊號，最基本的生成方法，就是依據輸入訊號與參考波形的振幅差異，使用比較器來切換輸出的開啓和關閉。如圖 2 所示，當輸入大於參考時，輸出為高；當輸入低於參考時，輸出為低。

輸出級可採用互補式雙 FET 的簡單組態，實現一開一關的運作模式（通常為一個 PNP 電晶體搭配一個 NPN 電晶體）。這稱為半橋組態，亦可與交換式電源產生共振。或許不意外的是，全橋式組態（配置兩個半橋級）也很常見，此設計可轉換負載通路，產生雙向電流；這種拓撲通常稱為橋接式負載 (BTL)。

由於具有電源電壓一半 ($V_{DD}/2$) 的直流偏移與 50% 的負載週期，因此若採用半橋輸出級，即使沒有輸出條件，電流也會通過負載；若是全橋輸出級，負載兩端皆會發生電流偏移。如此可有效消除靜態電流，而且在單一供電模式下無需阻隔電容，但較

顯著的影響在於，輸出擺幅可能增加兩倍。

這是由於全橋輸出級的 FET 數量多達兩倍，因此提高切換損耗等系統成本，並導致輸出功率受限。不過，有賴於業界持續改良揚聲器技術，此缺點對許多音訊產品應用來說已不再是問題。

免濾波設計

傳統上，若要重新建構 PWM 輸出波形，輸出端必須搭配低通濾波器，才能過濾 PWM 訊號中的高頻元素，確保音訊順利通過。此設計為了處理峰值輸出功率，必須採用夠大的電感器，致使 PCB 佔去更多面積，而 BOM 也隨之提高。

如此一來，D 類放大器可能不適用於小型和可攜式裝置，但這卻成為音訊產品應用的優勢。揚聲器其實是一種電感負載技術，其內建的電感器可以成為低通 LC 濾波器的一部分，藉以重新建構波形。使用揚聲器本身的電阻和電感，當作低通輸出濾波器的元件，可大幅減少 BOM，並將 PCB 佔用空間降至最低。

除此之外，揚聲器的頻率響應有所限制，因此已較無必要過濾 PWM 訊號中的高頻元素。由於人類的聽覺範圍僅限於低頻 kHz，耳朵就是現成的「天然濾波器」，能自動排除高頻元素。

精心設計的 BTL 輸出級，可讓揚聲器發揮低通濾波器功能，用以過濾 PWM 訊號；不過，放大器設計確實必須特別關注產品應用領域。在直接連接的情況下，電流會持續通過揚聲器，而導致裝置損壞；或者，在輸出發生偏壓時，則可能使動態範圍受限。在靜止狀態下，BTL 輸出級必須確保沒有電流通過負載，才能避免上述問題。

當然，音訊保真度至關重要，因為人耳很容易聽出異常音頻。為了呈現最理想的音訊品質，D 類音訊放大器部署了整合式回饋系統，實現出色的 THD+N（總諧波失真加雜訊）與 PSRR（電源供應抑制比）；工程師在選擇 D 類拓撲音訊放大器時，應審慎評估這兩項設計參數。

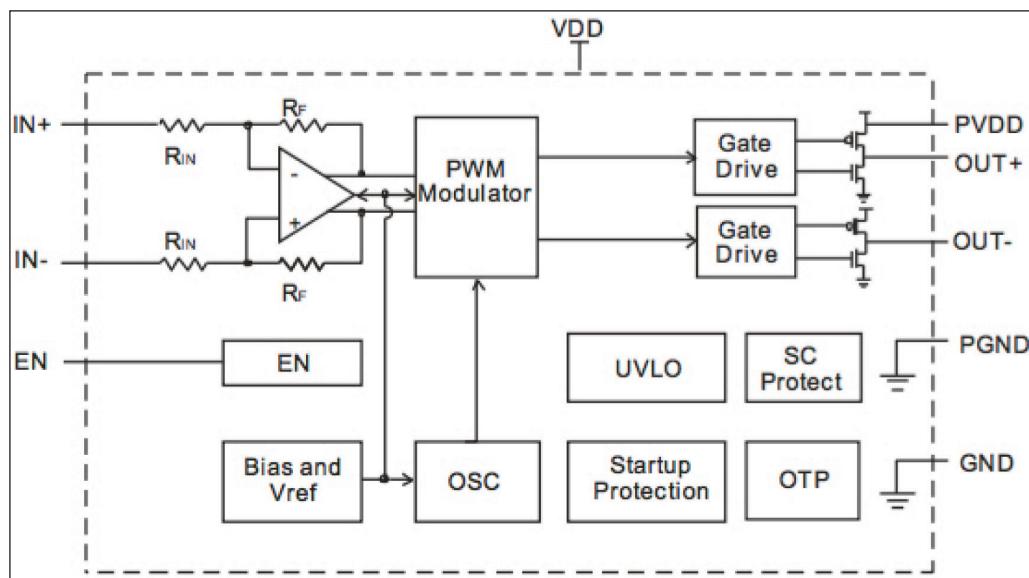
D 類放大器帶動市場發展

隨著用戶逐漸習慣音訊回饋與控制系統，小型音訊放大器的產品應用領域也持續成長。自動化語音回應技術不僅適用於手機和媒體播放器，亦能在醫療、工業設備、消費性裝置和家電領域發揮作用。

由於應用廣泛、輸出功率需求相對較低等優點，高度整合 D 類放大器將持續帶動市場發展，而

圖 3 : Diodes 的 PAM8014 免濾波 D 類放大器典型實作

圖 4 : Diodes 的 PAM8014 免濾波 D 類放大器區塊圖



這也是 Diodes PAM8014 等裝置的產品定位；本款免濾波 D 類放大器採用晶圓級 BGA 封裝，尺寸僅 $1.2\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ ，輸出功率高達 3.2W，幾乎無需搭配任何外部元件 (如圖 3 所示)。

本產品不僅實作 BTL 輸出級，還內建短路保護與熱關機功能，關斷模式下的電流更低於 $1\mu\text{A}$ 。此外，總諧波失真 (THD) 在 3.2W 輸出時僅 10%，而在供應電壓 5V 的作業條件下可支援 4Ω 負載；輸出功率為 0.5W 時，THD+N 會降至僅有 0.14%。如圖 4 所示，增益取決於輸入和回饋電阻的比例，效率高達 93%。

本裝置設有額外機制，以避免開啓或關閉時的瞬態效應 (可能發出「啞聲」與「卡隙聲」)，方法是停用放大器，直到參考電壓達到供應電壓的一半為止。熱保護機制採用非鎖存關斷設計，預定於內部晶粒溫度超過 150°C 時觸發；若在輸出接腳偵測到短路，或是供應電壓低於 2.0V，也會進入相同模式。另外，針對 EN 接腳施加低邏輯電位，即可手動進入關斷模式。

結論

使用 D 類放大器，即使最小的裝置也能添加音訊輸入功能。高度整合的解決方案更結合了免濾波實作、高效能、良好 EMI 與出色的 PSRR，進而實現新一代的智慧型裝置。

CTA