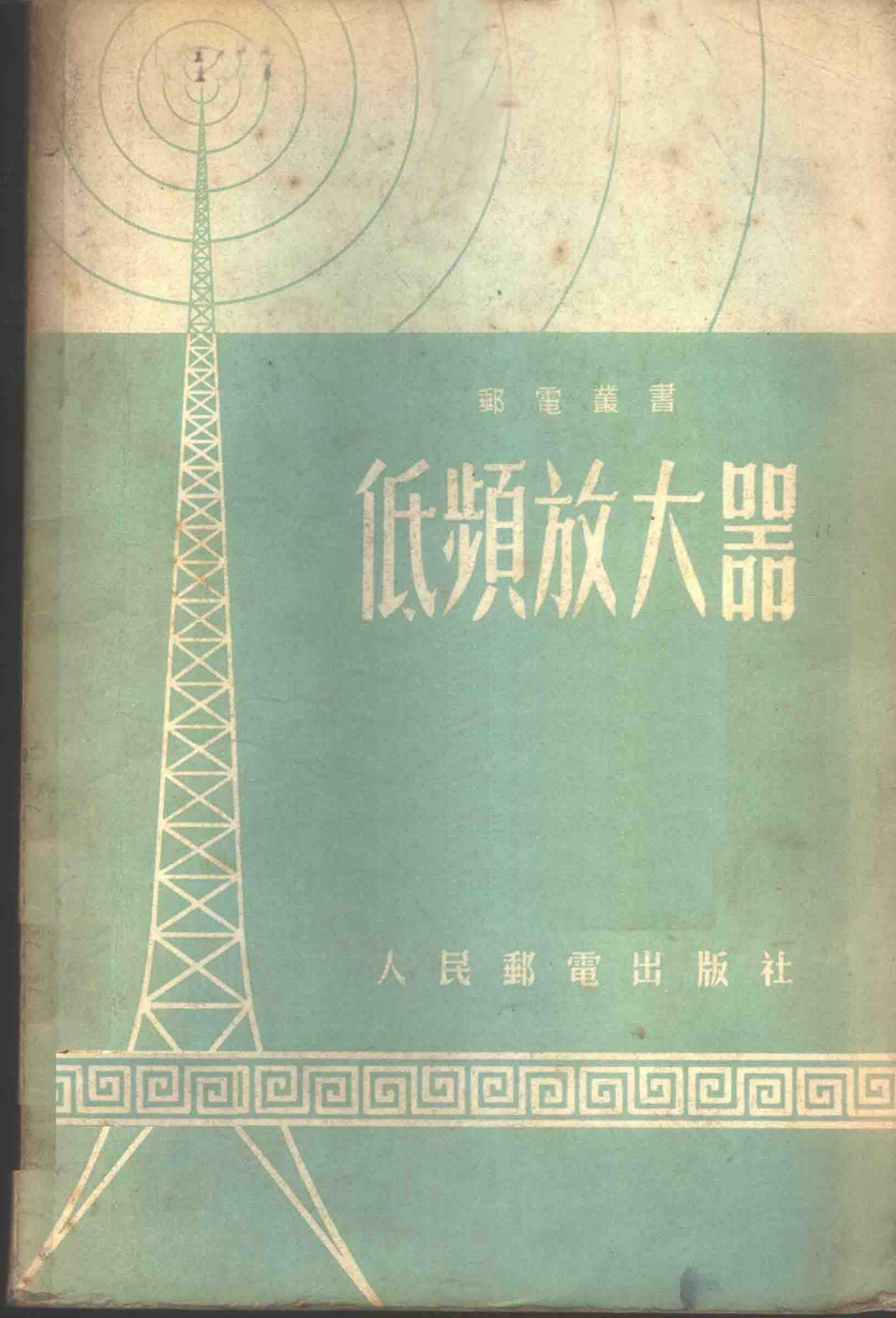


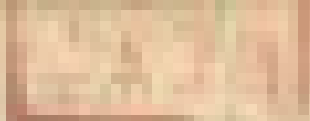


郵電叢書

低頻放大器

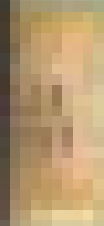
人民郵電出版社

第177



低頻放大器

人 民 郵 電 出 版 社



低 頻 放 大 器

蘇 聯 P. M. 馬 利 寧

人 民 郵 電 出 版 社

Р. М. МАЛИНИН
УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
МОСКВА 1953

內 容 提 要

本書是供獨立設計及裝配低頻放大器 和無線電廣播收音機的 業餘無線電愛好者使用。書中敘述按實際常見電路安裝成的，並以各種工作狀況進行工作的低頻放大器的作用原理，研討這些放大器質量指標的估計方法，及敘述低頻放大器的初步設計。

低 頻 放 大 器

著 者：蘇 聯 Р. М. 馬 利 寧
譯 者：中 華 人 民 共 和 國 郵 電 部 編 譯 室
出 版 者：人 民 郵 電 出 版 社
北 京 西 長 安 街 三 號
印 刷 者：郵 電 部 供 應 局 南 京 印 刷 廠
南 京 太 平 路 戶 部 街 15 號
發 行 者：新 華 書 店

書號：58 1955 年 4 月 南 京 第 一 版 第 一 次 印 刷 1—3,325 冊
850×1168 1/32 70 頁 印 張 4 $\frac{1}{2}$ 字 數 116,000 字 定 價 (8) 0.76 元
★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

序 言

蘇聯共產黨第十九次代表大會，在關於蘇聯第五個五年發展計劃的指令中，規定了要進一步發展無線電通信及無線電廣播事業。指定要大大增加廣播電台的功率，擴展超短波廣播及無線電中繼通信工作的應用範圍，以及進一步發展電視。

要完成以上這些重大任務，就要求我國無線電專業幹部的人數繼續不斷增加，無線電專業幹部的強大後備軍就是業餘無線電愛好者。在我國的業餘無線電愛好者中，已出現了許多科學家，無線電工程師及無線電技術方面的發明家和合理化建議者，他們保證了蘇聯的科學及無線電技術在全世界佔首要地位，並且繼續不斷地對科學及無線電技術的發展事業，對社會主義國家的無線電化事業，作出寶貴的貢獻。

許多業餘無線電愛好者出身的無線電專家們，由於自己的工作成就而獲得了斯大林獎金。

蘇聯共產黨及蘇聯政府對蘇聯的業餘無線電運動十分重視。領導這一運動的是全蘇志願支援陸、海、空軍協會。現在出版着大量供業餘無線電愛好者用的書籍。

本書是供給廣大的業餘無線電愛好者使用。在培養無線電裝配工、無線電機務員及其他無線電專業工作人員的學校中及函授學校中，也可以用這本書作為教材。

書中主要敘述低頻電子管放大器中出現的物理過程，還着重說明無線電廣播工程中所使用的放大器電路，因為放大器在這方面的應用最為廣泛，並使絕大多數的業餘無線電愛好者感到興趣。

書中列舉了中等技術水平的業餘無線電愛好者易於理解的低頻放大器和低頻放大器元件的簡單設計，以及若干對業餘無線電設計者有用的數據。

必須指出，因本書篇幅有限制，不可能研究現代低頻機械中所使用的各種電路。因此，作者只得說明主要的放大電路、負回授電路、音量調整電路、音調調整電路及其他等，以這些電路為基礎，就可以作出這些電路的各種變形。業餘無線電愛好者研究了這些主要原理電路及其物理過程後，就能了解低頻放大器及收音機低頻部分的具體構造。

P.M. 馬利寧

目 錄

序 言

第一章	低頻放大器的應用.....	(1)
第二章	放大率及輸出功率.....	(5)
第三章	頻率特性.....	(14)
第四章	非直線性失真.....	(20)
第五章	利用電子管的放大原理.....	(24)
第六章	末級.....	(36)
第七章	電阻耦合前置放大級.....	(56)
第八章	阻抗耦合前置放大級.....	(67)
第九章	變壓器耦合前置放大級.....	(69)
第十章	推挽放大級.....	(74)
第十一章	倒相級.....	(88)
第十二章	負回授.....	(94)
第十三章	低頻放大器頻率特性曲線的修正.....	(110)
第十四章	低頻放大器中的調整.....	(114)
第十五章	雙頻帶放大器.....	(123)
第十六章	放大器中的交流聲及自激.....	(126)

第一章

低頻放大器的應用

低頻波 頻率大約從20—30週到16000—20000週的波稱為聲波或稱為音頻波。交流電壓及交流電流，若大小值以一定週期進行變化，而變化的頻率在上述頻率範圍內，則都屬於音頻電波（低頻電波）範圍內。藉助於電話聽筒或揚聲器，這種電波可以使空氣振動變為頻率與原來頻率相同的聲波，而像聲音一樣，被我們的耳朵感覺到。

無線電廣播時，廣播員、演員或樂器的聲音所產生的聲波，被微音器變成低頻電波。無線電波把它們帶到無線電收音機。在那裏低頻電波又重新形成，並由電話聽筒或揚聲器變成聲波。

低頻放大器 利用供給放大器的電能，如用電池、整流器或其他電源的電能，把較弱的音頻（低頻）電波變為很強的音頻（低頻）電波的設備，稱為低頻放大器。通常放大是用電子管——三極管、五極管或集射四極管來實現的。

利用電子管來放大弱電波的方法，是由無線電發明家 A. C. 波波夫的學生，著名的蘇聯科學家 B. H. 柯瓦林可夫教授所發明的。B. H. 柯瓦林可夫在 1910 年就已做成了第一批使用三極管的放大器。以構造來說，現在使用的許多放大器都比這第一批三極管放大器要複雜得多，但是它們的工作原理却都是以 B. H. 柯瓦林可夫所提出的方法為根據。

蘇聯的科學家們及無線電專家們——H. E. 戈龍、I. C. 崔金、A. A. 尼古拉也夫、M. C. 奧洛夫和其他人等，對低頻放大技術的發展及改進作出了巨大的貢獻。

目前，低頻放大器的應用極廣泛。在許多設備中它們都是必需的，例如在無線電收音機、無線電播音室中用來進行無線電廣播的

設備、無線電廣播電台、無線電轉播機、向很多聽衆講演時用來放大發言者的聲音的設備、有聲電影院、長途電話局、運輸方面的調度設備、工業企業及其他許多國民經濟部門中都要用低頻放大器。

無線電收音機中的低頻放大器 從收音機檢波器出來的低頻電波，其功率要使揚聲器正常地工作還是不夠。因此，從收音機檢波器出來的低頻電壓，須要經過一個低頻放大器才加至揚聲器。

有很多無線電收音機製造成能放送唱片的，這些收音機的低頻放大器可以利用拾音器把唱片上的錄音經揚聲器放出來。

無線電廣播站及無線電廣播電台的低頻放大器 裝置在無線電播音室或其他進行無線電廣播的地方的微音器，其產生的微弱低頻電波送到廣播設備的低頻放大器中，經過低頻放大器放大後，則由廣播中繼線而傳輸到無線電廣播電台。廣播電台本身也有低頻放大器，它把收到的低頻電波再放大一次，並把放大後的低頻電波送到無線電發射機去。

無線電轉播站用的低頻放大器及放大講演話音用的低頻放大器 無線電廣播電台的信號被無線電轉播站接收以後，先由無線電轉播站的收音機放大，而後再加到一個特種的低頻放大器。這種低頻放大器把所收到電波的功率放大到一相當值，以便經過站內與用戶收音點的聯接線後仍可保證在用戶收音點有正常的可聽度。當無線電轉播站進行本地廣播時，由微音器、拾音器或磁帶錄音機那裏所取得的低頻電波，也加至這一放大器，經放大後，也像轉播無線電廣播那樣分送至各用戶收音點。

應用低頻放大器及揚聲器後的調度電路與無線電轉播站進行本地廣播時所用的電路類似。

放大講演話音時所用的低頻放大器電路與無線電轉播站進行本地廣播時所使用的電路幾乎完全相同，其區別僅在於：放大講演話音時微音器與揚聲器裝在同一房屋（大廳，講堂）內，或裝在同一廣場（運動場等）上。在這種情況下，採用功率較大的揚聲器。

在蘇維埃政權建立後的頭幾年，在嘉桑無線電通信基地上就已

裝了第一批供大廣場用的擴音設備。當弗拉基米爾·依里奇·列寧知道了這個情況後，他就指示在莫斯科也裝置這種擴音設備。在1921年，放大器和揚聲器運到了莫斯科。最初，揚聲器裝在蘇維埃廣場上（莫斯科蘇維埃大樓的陽台上）。利用這些揚聲器所進行的試驗性廣播（讀書），由莫斯科中央電話局用電線送出，這時在廣場對端聽起來很清楚。

在共產國際第三屆代表大會開幕日以前，即1921年6月17日以前，在斯維爾德洛夫廣場、多布雷寧廣場、謝爾浦霍夫廣場、巴烏馬廣場、克雷斯基揚哨所附近及傑維奇廣場上裝置了揚聲器，由廣播用電話線傳送給這些揚聲器。從這天起，莫斯科人在晚間能經常地從這些揚聲器聽到“俄羅斯電報通訊社口述報”的廣播。除播送報紙上的消息外，還經常利用這些揚聲器來播送報告及大眾性的演說。所有這些廣播都很受莫斯科人的歡迎。最早的無線電轉播站之一，就這樣地開始工作了。

1925年，職工會莫斯科省委員會在工程師 A. B. 維諾格拉道夫的領導下，構成一個裝設有專用有線廣播網的無線電轉播站，用這種有線廣播網上開始無線電廣播的轉播，起初只轉播至莫斯科各工廠的俱樂部，而後來則擴展到勞動人民的住宅區。次年，無線電廣播的有線轉播在列寧格勒及蘇聯的其他許多城市中也得到了發展。在偉大的衛國戰爭開始的時候，我們祖國的城市及鄉村中就有了幾千個無線電轉播站，並且有幾百萬個揚聲器（用戶收音點）與這些無線電轉播站相連接。在戰後到現在的這幾年內，無線電轉播站及用戶收音點的數目又更為增加了，並且還正在繼續向上增加。

長途電話通信用的放大器 現代的有線長途電話通信中不用低頻放大器是不可能的。在長距離傳輸線上傳輸電波時，電話機中送話器所發出的低頻電波被傳輸線減弱了很多，以至於線路的對端的電話聽筒發不出聲音來。如果在長途電話線路中接入所謂電話增音機，這就使彼此相隔幾千公里的城市間及其他居民點間有可靠的電話通信。電話增音機的主要部分就是低頻放大器。電話增音機也是

由 B.H. 柯瓦林可夫發明的。

錄音用的放大器 在錄音時，由微音器或無線電收音機那裏得到的電波，用放大器放大後再加到磁帶錄音機的錄音頭或刻紋器（把音錄在圓片上時使用）上。錄音頭就使移動的含有鐵粉的薄帶磁化，而刻紋器則在圓片的表面刻出螺旋形的條紋，這些條紋就代表加於刻紋機的電波的圖形。

要使磁帶把錄音放出來時，則將磁帶經過一個放音頭，放音頭就產生弱的低頻電波。要把錄音從圓片（唱片）上放出來時，就使拾音器的唱針沿着圓片上的條紋移動，這樣拾音器也就產生弱的低頻電波。在上兩種情況下，低頻電波都是先經過放大而後才送到揚聲器。

在有聲電影的電影院中，放映機中電燈泡的光線透過正在移動的電影膠片的“聲帶”，這樣一來，光線就被膠片上所錄的聲音的頻率調變，調變後的光線射到光電管上時，就變成了低頻電波。爲了要使電影院大廳中的揚聲器有正常的響度，此低頻電波必須再用低頻放大器加以放大。

第 二 章

放大率及輸出功率

放大器的輸入端及輸出端 以放大器的輸入端方面來說，可認為放大器是一個電能消耗較小的消耗器，此電能電源即輸入電壓電源，所以也可以認為是輸入電壓電源的負荷；而從放大器的輸出端方面來說，放大器本身可認為是一個電源，它可以將較大電能供給輸出端的負荷（圖 1）。同時，在放大器輸出端取得電能的必要條

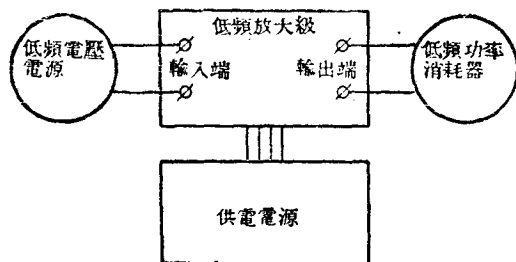


圖 1. 低頻放大器的簡要連接電路

件是，必須在放大器的輸入端上加電能。由此可見，放大器是一個他激式電源。

輸入阻抗 對由輸入電壓電源流向放大器的低頻電流來說，可以把放大器看成是一個阻抗（在放大器的輸入端子間或輸入塞孔間），這個阻抗叫做放大器的輸入阻抗。

放大器的輸入阻抗視加於放大器輸入端的電壓的頻率而定，這是因為在任何放大器的輸入電路中，通常都有不同的電抗存在，而這些電抗，像大家所知道的那樣，是隨着交流電頻率的改變而變化的。在放大器的特性表數據內列出了放大器必須放大的所有頻率的平均輸入阻抗（以歐姆計）。通常在平均輸入阻抗值上還要加上一個公差值（以百分數計），放大器在各種頻率時的輸入阻抗與平均

輸入阻抗可以相差這樣一公差值。

顯然可見，由輸入電壓電源流入低頻放大器的電流，視該放大器的輸入阻抗值而定，因此，由輸入電壓電源供給而由低頻放大器所消耗的功率，也視該放大器的輸入阻抗值而定。

低頻放大器的輸入阻抗應當與輸入電壓電源的內阻匹配。通常要求低頻放大器有很高的輸入阻抗——約一兆歐姆或幾十萬歐姆。這是很必要的，特別在低頻放大器輸入電壓電源是二極管檢波器或晶體拾音器時更是必要。二極管檢波器及晶體拾音器都具有極大的內阻，所以爲了使它們所產生的電動勢儘可能只有很小的一部分消耗在本身的內阻上，而使極大部分都加在放大器的輸入端上，放大器的輸入阻抗就必須很大。

放大器的輸出阻抗 如果從低頻放大器的輸出端來研究低頻放大器，也就是說把低頻放大器看作是一個低頻電源，則我們可以把放大器的輸出阻抗理解爲電源的內阻。在不同頻率時，輸出阻抗的值也是不同的。

輸出功率及輸入電壓 通常對電氣工程中所使用的普通電源都要求它所產生的電壓是儘可能不變的，但是低頻放大器的輸入電壓電源却不是這樣，這些電源所產生的電壓的振幅及頻率是不斷地改變的。在播送輕聲的談話或輕聲的樂器演奏時，輸入電壓比在播送叫喊聲或樂隊響亮地演奏時爲低。因此，低頻放大器的輸出端在不同時間內也就有不同的功率。這就使我們在收聽廣播時，有些聲音聽起來比較響，而有些聲音聽起來比較輕。

低頻放大器通常以下面二個參數來表示：(1) 額定輸出功率，即廣播最響時放大器所輸出的最大功率^①；(2) 額定輸入電壓也就

①廣播收音機國定全蘇標準(國定全蘇標準5651—51)把交流收音機的輸出功率規定如下：1級無線電收音機——4瓦特；2級無線電收音機——1.5瓦特；3級無線電收音機——0.5瓦特。把2級電池收音機的輸出功率規定爲0.15瓦特，所以規定爲0.15瓦特，是由於要用電池來供電以取得較大的功率是不經濟的。在自己設計裝置廣播收音機的低頻放大器時，可以用上述這些數字作爲根據。

上述由國定全蘇標準所規定的功率，是根據收音機揚聲器所應產生的平均聲壓而決定的，這些收音機揚聲器所應產生的平均聲壓如下：1、2、3級交流收音機分別爲20、10、4.5巴；2級及3級電池收音機爲3巴。

是爲了使放大器輸出額定輸出功率而必需加在放大器輸入端的低頻電壓。爲了簡單起見，通常在書寫及說話時把上面二個名詞寫成或說成“輸出功率”及“輸入電壓”，而實際上所指的就是輸出功率及輸入電壓的額定值。在收聽無線電話時，電壓及功率在大部分時間內都比額定值小，而只在很短的時間內達到額定值。

在某些情況下，還要談到輸出電壓。輸出電壓就是額定輸出功率時放大器輸出端的電壓。

加到放大器輸入端的電壓不應高於放大器特性表數據上所示的（或設計所規定的）電壓，也就是說不應使“放大器輸入過負荷”，因爲在這種情況下就會使放大器輸出端的信號產生失真。

最佳負荷電阻 在放大器輸出端接上某一固定的，所謂放大器的最佳負荷電阻，是放大器輸出端取得最大功率的一個條件。如果改變負荷電阻值，使它大於或小於最佳值，那末放大器所輸出的功率就會減小。在工廠中測試放大器時，繪製了用來表示放大器輸出端輸出功率與負荷電阻值間關係的負荷特性曲線。繪製這種特性曲線時，在放大器的輸出端接上一個實際上可以說是沒有電感和電容的可變電阻，而放大器的輸入端則由音頻振盪器供給一個測試時振幅保持不變的而又有一定頻率的低頻電壓（通常爲 400 週、800 週或 1000 週）。在測繪特性曲線的過程中，應改變電阻的數值，電阻每改變一次，就測量一次在這電阻上的功率。根據測量的結果來畫曲線，畫出的曲線就是該放大器的負荷特性曲線。

上面已經說過，把一個過份大的電壓加到放大器的輸入端會引起所謂放大器的輸入過負荷現象。如果負荷電阻比最佳負荷電阻小，則結果將使放大器的輸出過負荷。此時放大器的輸出電壓及輸出功率便減小。

負荷的“移去” 所謂負荷的“移去”，也就是斷開負荷與放大器電路是一種特殊的狀況。這種狀況與電力電源無負荷時的狀況相同。在這種狀況下，放大器輸出端不輸出任何功率，同時輸出端的電壓或多或少地較放大器有負荷時的正常電壓爲高。

放大率 放大器的特性也可以用放大率（簡稱放大）來標示，放大率表示放大器輸出端的電壓或功率是放大器輸入端電壓或功率的多少倍。我們必須適當地把電壓放大率與功率放大率區別開來^②。放大器輸入端的電壓或功率乘以電壓放大率或功率放大率，就可以求得放大器輸出端的電壓或功率。

顯然，輸入電壓電源所供給的電壓或功率愈小，及某一消耗器（或若干消耗器）需要的電壓及功率愈大，則放大器的放大率也就應該愈大。

以後我們將談到，放大器對各不同頻率的電壓及功率的放大，並不完全相同，亦即放大器在不同的頻率時有不同的放大率。因此，在放大器特性表數據上通常除載有放大率外，還註明這些放大率是在何種頻率（通常使用的頻率是 400 週、800 週或 1000 週）下得出的。

分貝 在低頻放大這項技術中，廣泛採用特種單位——分貝來估量信號的增強及減弱。爲了更好地理解這種估量方法的實質，我們來回想一下關於聲音方面的某些概念。

爲了使我們能聽到聲音，空氣中的聲波必須對我們耳朵的鼓膜施以足夠的壓力。

使耳朵開始聽見聲音的最小聲壓稱爲“耳朵的靈敏限度”。在頻率爲 1000——5000 週時，各個人的耳朵的靈敏限度大約爲 0.0002 到 0.0005 巴^③。當頻率更高或更低時，耳朵的靈敏度減小，這時，只有當聲壓較大時耳朵才能聽出聲音來。

當加在耳膜上的聲壓很大時，耳朵中就會感到很痛。在頻率爲 1000——5000 週時，如果聲壓超過 1000 巴，耳朵中就會感覺疼痛。在頻率更高或更低時，則在聲壓較小時耳朵就已經感覺疼痛了。

②以後談到放大率時，如果沒有特別說明還是功率放大率，那末所指的就是電壓放大率。

③巴——壓力的單位。如果加在某一表面的每一平方公分上的力等於 1 達因，那末加於此表面的壓力就等於 1 巴。

正常響度的說話聲音其平均聲壓，約為 1 巴。

響度感覺的增大或減小並不和聲壓成正比，而是大致上和被比較的二聲壓之比的對數值成正比。根據這個關係，在實用上就採用了叫做分貝（符號為 db ）的響度感覺變化單位。以分貝作單位的響度感覺的變化，可以用公式

$$S = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

來計算，式中 P 及 P_0 為被比較的聲壓值，或者用圖 2 中的曲線來求出。

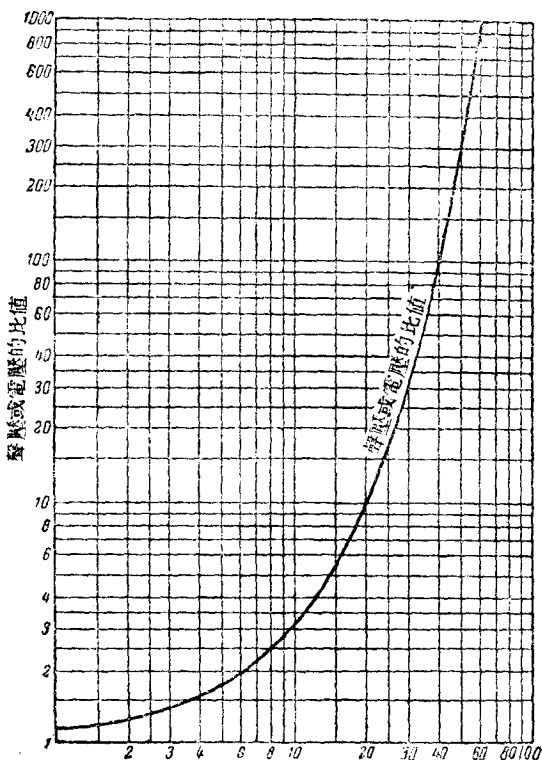


圖 2. 聲壓或電壓的比值與分貝的換算曲線

1 分貝相當於聲壓改變了 12%。當我們在聽純正弦波形的“中低頻”^④聲音時，只有當它的響度的改變值超過了 1 分貝，我們的耳朵才能感覺到響度的變化。在發送複雜的聲音時，聲壓甚至改變了數分貝，人耳還是不能感覺出它的變化。

以分貝為單位的聲音響度 如果把某一響度作為起始響度（零響度），則我們不但可以利用分貝來比較大小不同的響度感覺，而且還可以利用分貝來刻製刻度，以便用來表示不同聲音響度與此零響度（起始響度）相比較的結果。通常把可聽限度作為零響度。由於可聽限度在不同頻率時有不同的值，所以規定了所謂“標準可聽限度”，這相當於頻率 1000 週聲壓為 0.000 2 巴時的可聽限度。

聲壓 P 的任一值都可以用下式來換算成分貝數：

$$S_0 = 20 \log \frac{P}{0.0002}, \text{ 或 } S_0 = 20 \log 5000P \cdot (2)$$

供給揚聲器的電壓與揚聲器所發出的聲壓之間的關係 當加於揚聲器的電波的功率比較小時，揚聲器產生的聲壓也比較小，我們聽起來也會感覺到聲音不很響。當加於揚聲器的功率較大時，揚聲器產生的聲壓就較大，結果耳朵聽起來就感覺聲音較響了。

大致上可以認為，聲壓的增高或減低與加於揚聲器的音頻電壓的增高或減低成比例，或與功率變化值的平方根成比例。

我們在上面已經談過，聲壓變化與響度變化之間的關係是對數關係，所以揚聲器所發出的聲音的響度，也與所加的電壓及功率成對數關係。

因而，電壓及功率的增大（增益）和減小（衰減）也可以用分貝來估量。

^④屬於低頻的所有頻率，通常分為三部分：下低頻，中低頻，上低頻。我們把從 300—400 週到 2000—3000 週左右的頻率列為中低頻，而把 300—400 週以下的低頻列為下低頻，把 2000—3000 週以上的低頻列為上低頻。低頻所以要這樣劃分，是由於人耳感覺各部低頻時的某些特點，以及各部低頻通過低頻放大器時的某些特點。此外，我們以後將使用“最低頻率”及“最高頻率”這二技術用語，這二用語所指均是低頻放大器通過帶的最低頻率及最高頻率，亦即指通過帶界限上的頻率或很接近於這些界限的頻率。

以分貝來表示電壓及功率的增益及衰減 如果某一值的功率以 P_0 表示，另一值的功率以 P 表示，則此二功率之間的分貝差數 S 可用下式計算：

$$S = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

同樣，如果某一值的電壓以 U_0 表示，另一值的電壓以 U 表示，則它們之間的分貝差數 S 可用下式計算：

$$S = 20 \log \frac{U}{U_0} \quad (4)$$

如果 P 及 U 分別大於 P_0 及 U_0 。（在放大時），則以分貝作單位的計算結果將帶正號；而在相反的情況下（在衰減時），計算結果將帶負號。

以分貝作單位的電壓電平及功率電平 把音頻電壓或音頻功率的某一值定為零電平後，我們也可以用分貝來表示電壓及功率的大小。

我們把輸出至 600 歐姆有效電阻而大小等於 1 毫瓦的交流電功率，作為功率的零電平；把加於 600 歐姆有效電阻上而有效值等於 0.775 伏特的交流電壓作為電壓的零電平。

在無線電廣播工程中，實際上廣泛地用分貝來估量電壓電平。電壓電平可由下式求出：

$$S = 20 \log \frac{U}{0.775}, \text{ 或 } S = 20 \log 1.29U. \quad (5)$$

電壓小於 0.775 伏特時，以分貝表示之電壓電平將帶負號。

表 1 所示為以分貝表示的一些電壓電平數。

不應把以分貝表示的聲音響度和以分貝表示的電平混為一談。例如，把一個 30 伏特的音頻電壓加在用戶收音點的揚聲器上，30 伏特的電壓相當於 32 分貝的電壓電平，但這決不是說揚聲器產生的響度為 32 分貝。不同的揚聲器在所加電壓的電平相等時可能產生不同的響度。響度不但與揚聲器上所加的電壓有關，並且還與揚