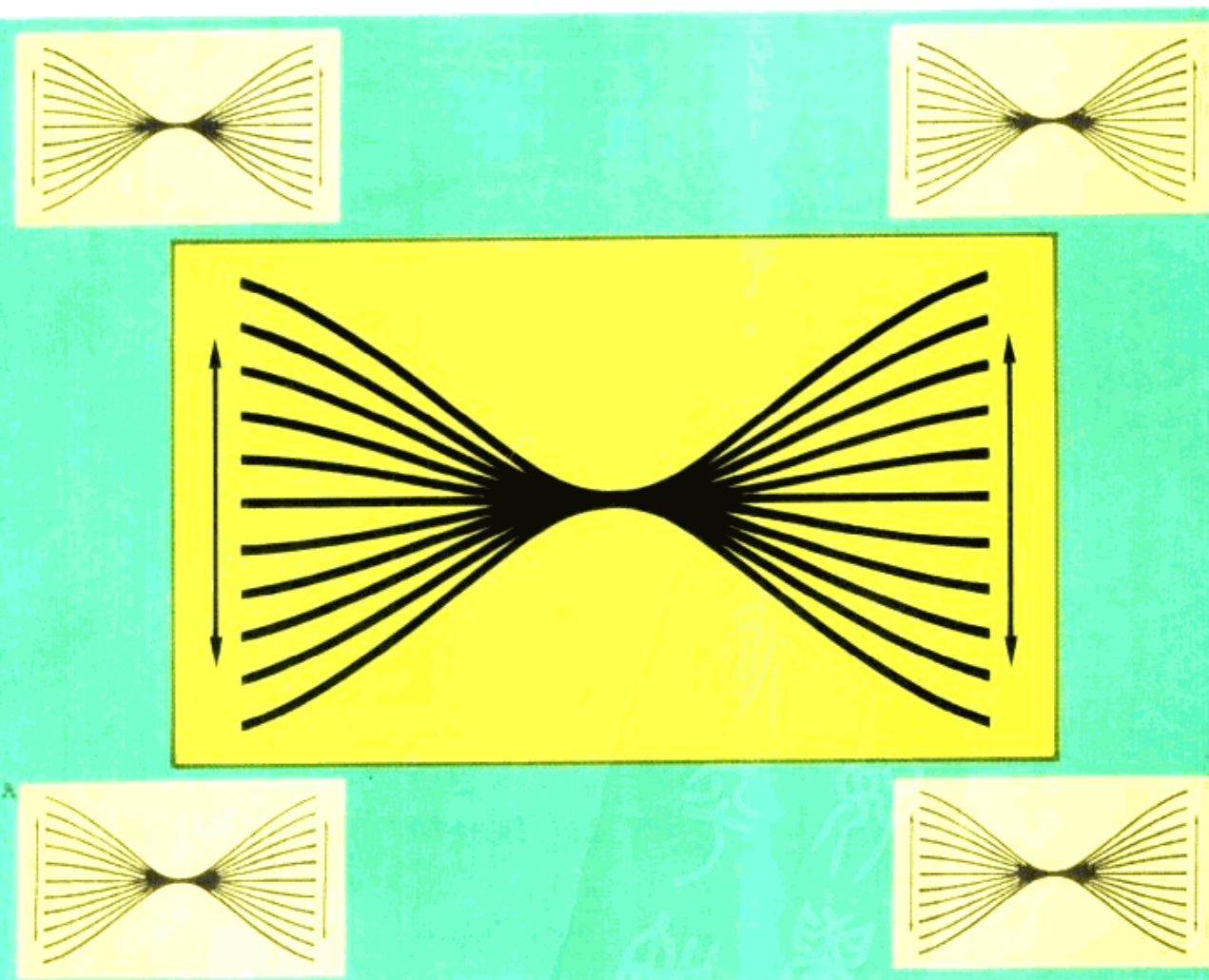


擴大器原理與製作(Ⅱ)

——音質控制器——

楊丕全 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

序 言

各級學校使用的教科書，限於教學目的及篇幅，大多只能對電晶體做理論上的分析。市售有關擴大機原理的書，却只能提出對個別電路特性的介紹和製作的要領，對於定量的分析付諸闕如，因此讀者看過類似的書後，往往若有所悟，仔細一想却缺乏整體性的講解，無法運用到實際的電路上，對於電路元件值的更改往往也只能做到知其然，不知其所以然。

事實上，音頻（audio freq）放大器是電子學最基本的運用，學者只要能把握住教科書上分析的要領，再加上適當的簡化，要分析市售的擴大機一點也不困難。爲了使分析與製作均能夠講解的更仔細，本書共分爲三冊，第二冊音質控制電路，介紹的是音響系統中對頻率有選擇性的電路，包括有高、低音濾除器、響度控制、電子分音器、RIAA等化器、音質控制放大電路和SEA等化器……等。

讀者可以視自己的程度，跳過比較複雜的分析和計算，援用書中簡化的式子和結論，對於市售的擴大機也可以具備基本更改和修理的能力。

本書是筆者利用閒暇時間編纂而成，疏誤之處在所難免，請先進們不吝賜教。

楊丕全 謹識

73年5月於風城

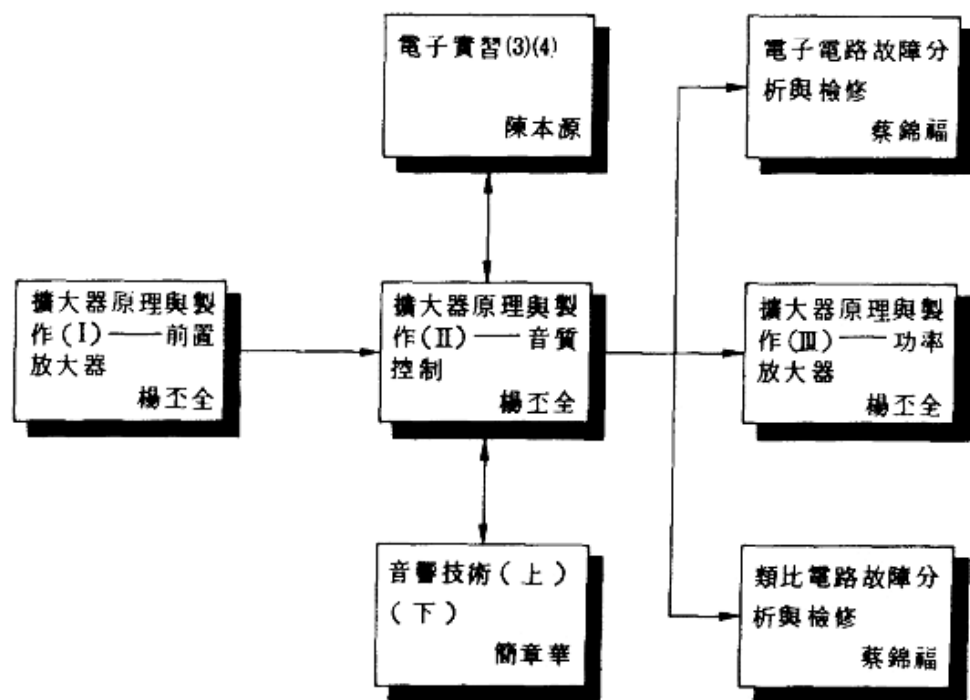
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，且循序漸進。

現在，我們將這本「擴大器原理與製作(Ⅰ)——音質控制器」呈獻給您。坊間關於擴大機原理與製作的書籍不勝枚舉，但一般均缺乏整體性的介紹，本書為力求對擴大器原理與製作做最有系統及詳盡的介紹，全書共分三冊，第一冊介紹前置放大器，第二冊介紹音質控制器，第三冊介紹功率放大器，在內容編排上每冊均分二部份，第一部份為原理分析，第二部份為設計與製作，使讀者在研習製作各類型電路的同時，都能對此電路的原理、動作、設計、分析和製作，有個徹底的瞭解。由本書讀者可以根據自己的程度，不但能習得製作電路的方法，並從分析中了解各類型電路的動作原理，培養修理校正電路的能力，且能更進一步學得設計電路的要領。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習擴大器方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流 程 圖



目 錄

PART I 原理簡析

第一章 拉氏變換與轉移函數

1.1 電阻器、電容器與電感器的阻抗·····	3
1.2 電阻與電容的並聯、串聯·····	6
1.3 轉移函數與波德圖形·····	8
1.4 波德圖形的合成·····	13

第二章 擴大器上附加的一些頻率選擇電路

2.1 高頻濾除器和低頻濾除器·····	17
2.2 響度控制 (Loudness) ·····	21
2.3 緩衝器與主動濾波器·····	28
2.4 常見的主動二階濾波器·····	32

第三章 電子分音器

3.1 分音器簡介·····	39
3.2 電子分音器·····	43
3.3 一階的電子分音器·····	46
3.4 二階的電子分音器·····	48
3.5 三階的電子分音器·····	57
3.6 非對稱型的電子分音器·····	60

3.7	三音路的電子分音系統.....	62
3.8	副低音 (Sub Woofer) 喇叭分音器.....	67

第四章 音質控制電路

4.1	RC 衰減型音質控制電路.....	71
4.2	RC 負回授型音質控制電路.....	82
4.3	其他種類的音控電路.....	92
4.4	放大器的選擇及振盪的防止與抵補問題.....	100
4.5	實例分析.....	105

第五章 SEA 等化器

5.1	LC 諧振方式的 SEA 等化器.....	111
5.2	LC 負回授方式的 SEA 等化器.....	115
5.3	使用主動元件合成電感的 SEA 等化器.....	117
5.4	RC 負回授方式的 SEA 等化器.....	120

第六章 RIAA 等化器

6.1	RC 衰減型電路之一.....	131
6.2	RC 衰減型電路之二.....	137
6.3	RC 負回授型 RIAA 等化器之一.....	140
6.4	負回授型 RIAA 等化器之二.....	147
6.5	主放大電路的要求.....	150
6.6	NF-RC 型 RIAA 等化器.....	154

PART II 製作篇

第一章 電子分音器的製作

1.1	三音路電子分音器.....	161
-----	---------------	-----

1.2	三音路電子分音器實作記要	168
1.3	副低音喇叭分音器（或兩音路電子分音器）	176

第二章 音質控制電路

2.1	NF 型音控電路之一（ $DC \pm 18V$ ）	185
2.2	NF 型音控電路之二（ $DC \pm 24V$ ）	193
2.3	NF 型音控電路之三（ $DC \pm 30V$ ）	198

第三章 SEA 等化器的製作

3.1	電路簡析	203
3.2	製作與測試	211

第四章 RIAA 等化器的製作

4.1	RC 負回授型 RIAA 等化器之一（ $DC \pm 15V$ ）	217
4.2	RC 負回授型 RIAA 等化器之二（ $DC \pm 28V$ ）	222
4.3	NF-CR 型 RIAA 等化器（ $DC \pm 22V$ ）	229

第五章 系統配線

5.1	電磁屏蔽	237
5.2	整體的規劃	242
5.3	$DC \pm 30V$ 前級擴大機的製作	243

PART

I

原理簡析



拉氏變換與轉移函數

要說明一個電路的頻率響應（ frequency response ），最佳的數學方法，就是利用拉氏變換（ Laplace transform ），將電路的轉移函數（ tranfer function ）求出來，然後利用波德圖形（ Bode plot ）就可以將電路上大致上的頻率響應繪出來；由於音響上的電路較簡單，利用類似的方法，我們很容易就可以將一些對頻率有選擇性的電路，諸如RIAA等化器、音質控制電路……等，的轉移函數求出來供我們分析、設計時參考使用。並且了解了轉移函數中的零點（ zero ）與極點（ pole ）的觀念後，對放大器中高頻相位補償的問題也能有更進一步的認識。底下，我們僅就音響擴大器分析時需要用到的一些數學基礎，做一些簡單的介紹。

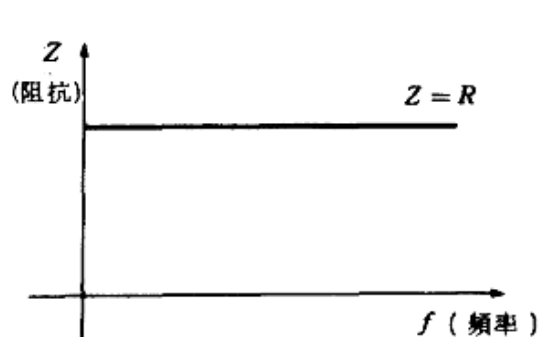
1.1 電阻器、電容器與電感器的阻抗

普通，我們求一個元件的阻抗時（ impedance ），使用的關係式是：

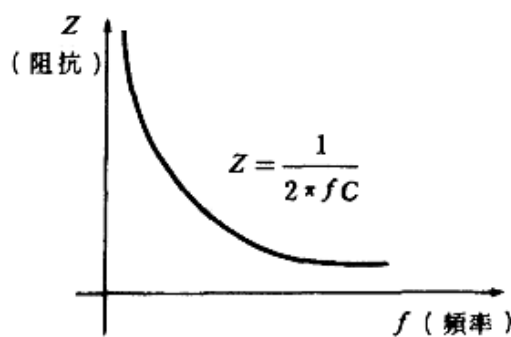
$$Z = \frac{V}{I}$$

對於一般的電阻而言，在音頻範圍內（ $20 \sim 20 \text{ KHz}$ ），電壓與電流的關係滿足歐姆定律，亦即 $R = \frac{V}{I}$ ；所以，我們說一個純電阻的元件，不論工作的頻率如何，它的阻抗 $Z = R$ ；換句話說，一個純電阻是一個與頻率無關的元件，它的阻抗與工作頻率無關。

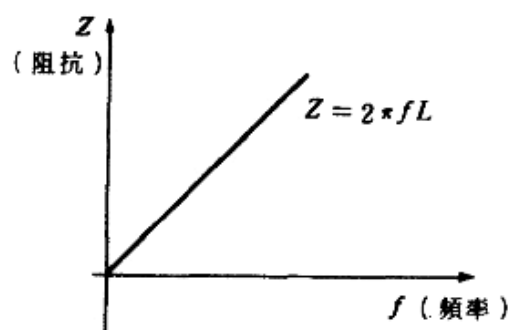
參考圖 1-1 (b)，對一個理想的電容器而言，它的阻抗隨著頻率的增加而降低（ $f \uparrow Z \downarrow$ ），它的阻抗隨頻率降低而增高（ $f \downarrow Z \uparrow$ ），由實驗的結果，我們知道一個理想電容器的阻抗 $Z(f) = \frac{1}{2\pi f C}$ ；其中 $Z(f)$ 代表電容的阻抗與頻率有關，亦即電容的阻抗 Z 是頻率 f 的一個函數。對於一個交流信號，除了振幅的大小之外，信號的相位問題也同樣的重要；



(a) 電阻的阻抗



(b) 電容的阻抗



(c) 電感的阻抗

圖 1-1

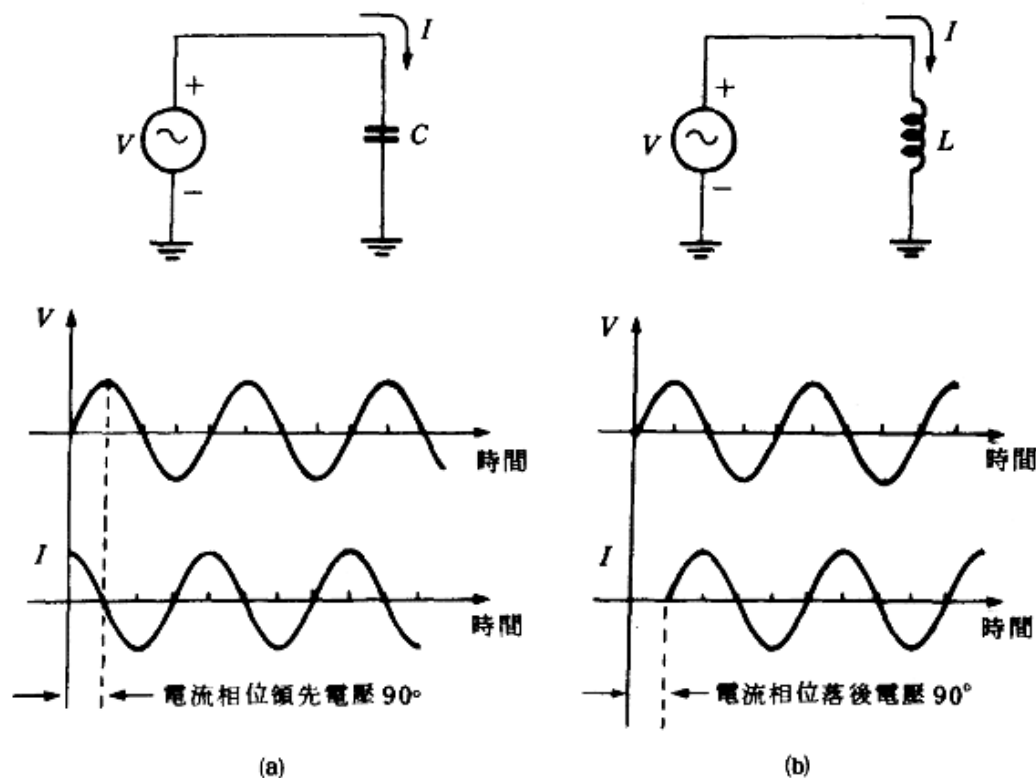


圖 1-2

參考圖 1-2 (a)，當我們將一個交流信號 V 送到一個電容量為 C 的負載上去時，我們發覺，電容器上的壓降 V 與電容器上面的電流 I 有一個 90° 的相位差存在，亦即電容器上電流信號的相位領先了電壓信號 90° ；為了說明電容器上電壓與電流相位差的關係，我們可以採用複變 (complex variable) 的方式，利用乘 j 來代表領先 90° ，乘 $(-j)$ 來代表落後 90° ；所以一個電容器的阻抗採用複變的方式來代表時，關係式如下：

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{j2\pi fC}$$

其中 j 用來代表電流的相位領先電壓 90° ，在實用上 $2\pi f$ 可以用角頻率 ω 來代表，因此電容器的阻抗可以寫成：

$$Z(j\omega) = X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

同理，參考圖 1-1 (c)，電感器的阻抗隨頻率增加而增加，可以用 $Z = 2\pi fL$ 來代表；觀察圖 2-1 (b)，我們發覺電感器上電壓信號比電流信號領先了 90° ，所以：

$$Z(j2\pi f) = X_L = \frac{V}{I} = j2\pi fL$$

$$\text{或 } Z(j\omega) = X_L = j\omega L$$

想繪出一個電路的真正頻率響應曲線時，可以使用複變的方式計算繪出；想了解一個電路的特性時，利用拉氏變換求出電路的轉移函數來分析

最佳。對於一個電容器而言，我們知道電壓與電流的關係是 $I = C \frac{dv}{dt}$ ，

利用拉氏變換，我們可以將微分與積分的關係，變成乘 S 與除 S 的關係（假設 initial condition 均為 0）；所以 $I = CVS$ ，因此透過拉氏變換，我們知道電容器的阻抗：

$$Z = X_C(S) = \frac{V}{I} = \frac{1}{SC}$$

對於一個電感而言，我們知道電壓與電流的關係是： $V = L \frac{dI}{dt}$ ，所

以 $V = LIS$ ，因此透過拉氏變換我們知道電感器的阻抗：

$$Z = X_L(S) = \frac{V}{I} = SL$$

底下是本節的一些小結論：

- 電阻的阻抗與頻率無關，且 $Z = R$ 。
- 電容的阻抗隨頻率的增加而減少，且 $Z = X_C = \frac{1}{j2\pi fC} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{SC}$
- 電感的阻抗隨頻率的增加而增加，且 $Z = X_L = j2\pi fL = j\omega L = SL$

1.2 電阻與電容的並聯、串聯

求電路的轉移函數時，我們常常會利用到電阻與電容的並聯、串聯，

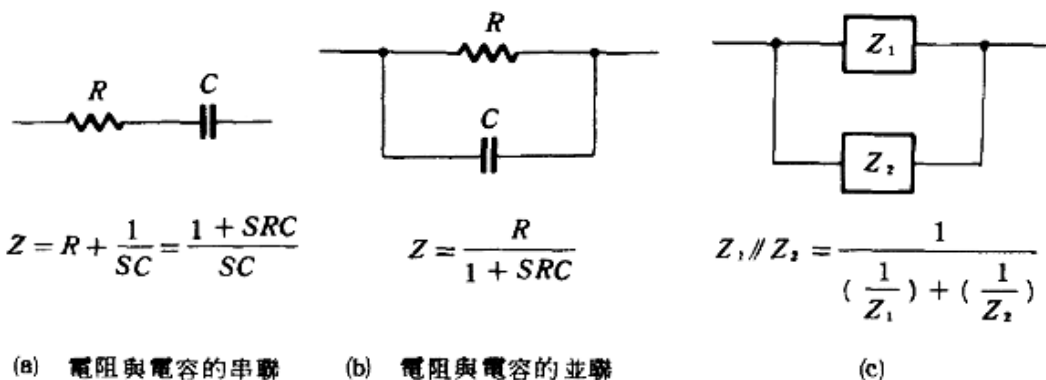


圖 1-3

參考圖 1-3 (a)，電阻與電容器串聯的等效阻抗 Z 等於電阻的阻抗 R 加上電容的阻抗 SC ，所以：

$$Z = R + \frac{1}{SC} = \frac{1 + SRC}{SC}$$

參考圖 1-3 (c)，求並聯等效阻抗時，一般使用下列的公式：

$$Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{Z_1}\right) + \left(\frac{1}{Z_2}\right)}$$

由於電容器的阻抗 $X_C = \frac{1}{SC}$ ，所以電阻與電容器並聯的等效阻抗：

$$Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{R}\right) + \left(\frac{1}{\left(\frac{1}{SC}\right)}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R}\right) + SC} = \frac{R}{1 + SRC}$$

以上兩個結果計算上常常會利用到，讀者應該熟記。

參考圖 1-4，無外加負載時， Z_1 上與 Z_2 上的電流相同，所以 V_1, V_2 電壓的關係由 Z_1 與 Z_2 的比值來決定，且

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

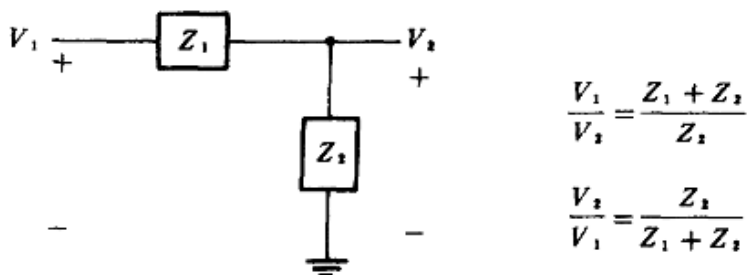


圖 1-4 分壓定理

或
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$$

這就稱為分壓定理。底下是本節的小結論：

- 電阻與電容串聯，等效阻抗 $Z(S) = \frac{1+SRC}{SC}$
- 電阻與電容並聯，等效阻抗 $Z(S) = \frac{R}{1+SRC}$
- 參考圖 1-4， $\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_2}{(Z_1 + Z_2)}$ ， $\frac{V_1}{V_2} = \frac{(Z_1 + Z_2)}{Z_2}$

1.3 轉移函數與波德圖形

對於音響上的擴大器而言，我們關心的是電壓的轉移函數 (transfer function)，透過了拉氏變換，我們定義電壓轉移函數：

$$H(S) = \frac{V_{\text{out}}(S)}{V_{\text{in}}(S)}$$

其中轉移函數 H ，輸入電壓 V_{in} 、輸出電壓 V_{out} 皆為 S 的函數。假設某個電路的轉移函數 $H(S)$ 可以表成下式時：

$$H(S) = \frac{K(S+Z_1)(S+Z_2)}{(S+P_1)(S+P_2)}$$

由於 $S = -P_1$ ， $S = -P_2$ 時，轉移函數的值趨近於無限大，所以我

們稱此電路有二個極點 (pole)，其時間常數為 $-\frac{1}{P_1}$ 與 $-\frac{1}{P_2}$ ，或者

稱 $f = \frac{P_1}{2\pi}$ 或 $f = \frac{P_2}{2\pi}$ 為電路的極點頻率 (由 $S = j\omega = j2\pi f = -P_1$

求出)。所以當我們知道某個電路的轉移函數：

$$H(S) = \frac{dS^2 + eS + f}{aS^2 + bS + c}$$

時，我們令轉移函數的分母等於零，亦即令 $aS^2 + bS + c = 0$ ，即可將電路的極點頻率求出來；我們令轉移函數的分子等於零，亦即令 $dS^2 + eS + f = 0$ 時，也可以將電路的零點頻率求出來。

反之，如果我們已經知道某個電路的轉移函數有兩個極點 (其時間常數分別為 $-\tau_{P1}$ 秒、 $-\tau_{P2}$ 秒) 和一個零點 (時間常數為 $-\tau_z$) 則其轉移函數應該類似於：

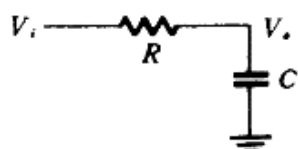
$$H(S) = K \frac{(1 + S\tau_z)}{(1 + S\tau_{P1})(1 + S\tau_{P2})}$$

其中 K 為某一個常數，由電路的結構來決定。例如，標準的 RIAA 等化曲線其 $\tau_z = 318 \mu \text{ sec}$ ($\mu = 10^{-6}$)， $\tau_{P1} = 3180 \mu \text{ sec}$ ， $\tau_{P2} = 75 \mu \text{ sec}$ 所以標準 RIAA 等化曲線的轉移函數應該類似於：

$$H(S) = K \frac{(1 + S 318 \mu)}{(1 + S 3180 \mu)(1 + S 75 \mu)}$$

參考圖 1-5，由分壓定理我們知道電路的轉移函數

$$H(S) = A_v(S) = \frac{V_{\text{out}}(S)}{V_{\text{in}}(S)} = \frac{\left(\frac{1}{SC}\right)}{R + \left(\frac{1}{SC}\right)} = \frac{1}{1 + SRC}$$



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\left(\frac{1}{SC}\right)}{R + \left(\frac{1}{SC}\right)} = \frac{1}{1 + SRC}$$

■ 1-5

令分母 = 0，亦即令 $1 + SRC = 0$ ，解出電路的極點頻率 $f_{\text{pole}} = \frac{1}{2\pi RC}$

。當我們想繪出電路的真正頻率響應曲線時，應該使用複變的方式，亦即令 $S = j\omega = j2\pi f$ 得

$$A_v = H(j2\pi f) = \frac{1}{1 + j(2\pi fRC)} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (2\pi fRC)^2}}$$

$$\angle\theta = -\tan^{-1}(2\pi fRC)$$

所以電路的電壓增益隨著頻率的增加而減少，當 $f = \frac{1}{2\pi RC}$ 時，我

們發覺電路的電壓增益 $A_v(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ ， $\angle\theta = -45^\circ$

，我們稱此頻率為電路的轉折頻率 (turn over frequency) 或 -3dB 頻

率；當 $f \gg \frac{1}{2\pi RC}$ 時，(亦即 $2\pi fRC \gg 1$) 我們發覺：

$$A_v(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}} \cong \frac{1}{2\pi fRC}$$

所以頻率每增加兩倍，電路的增益就衰減了兩倍 (-6 dB)；或者是

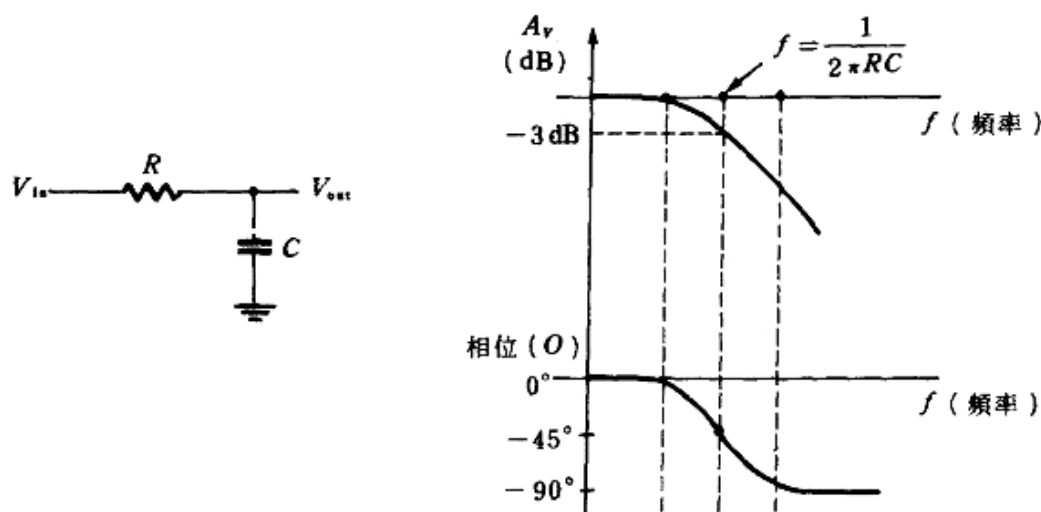


圖 1-6