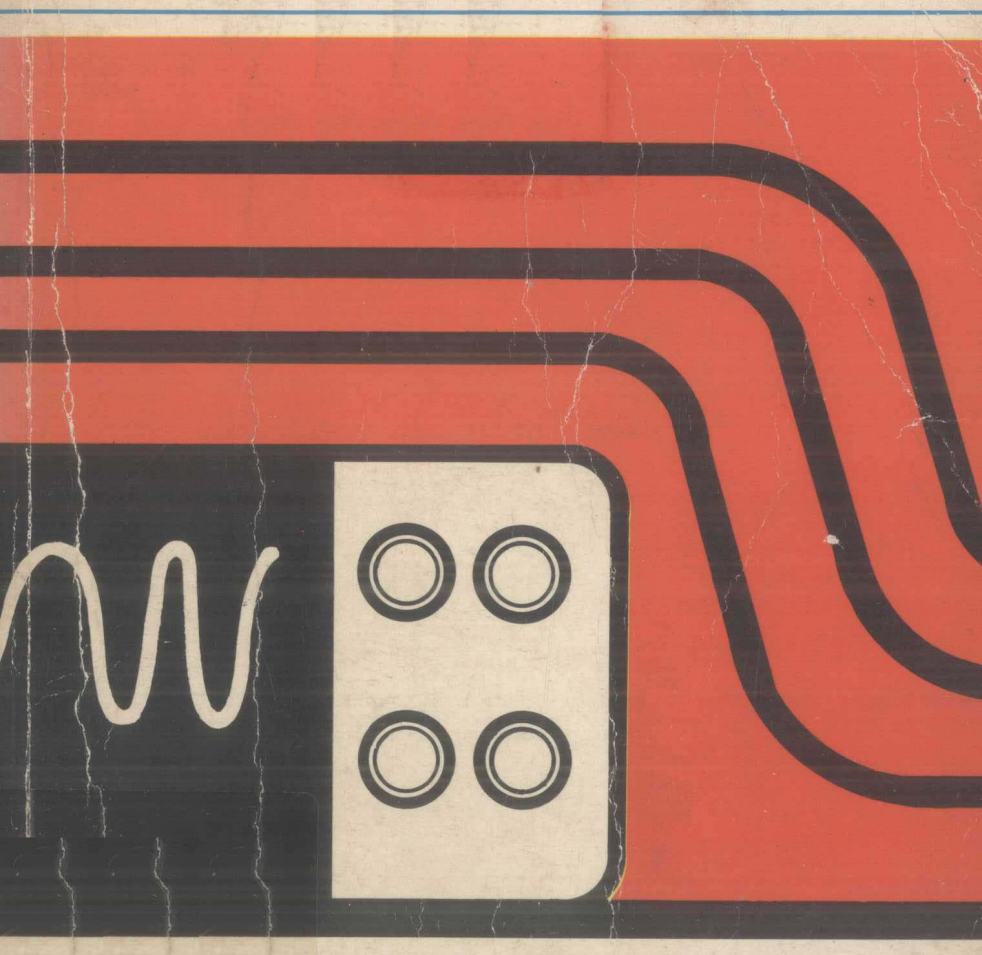


示波器

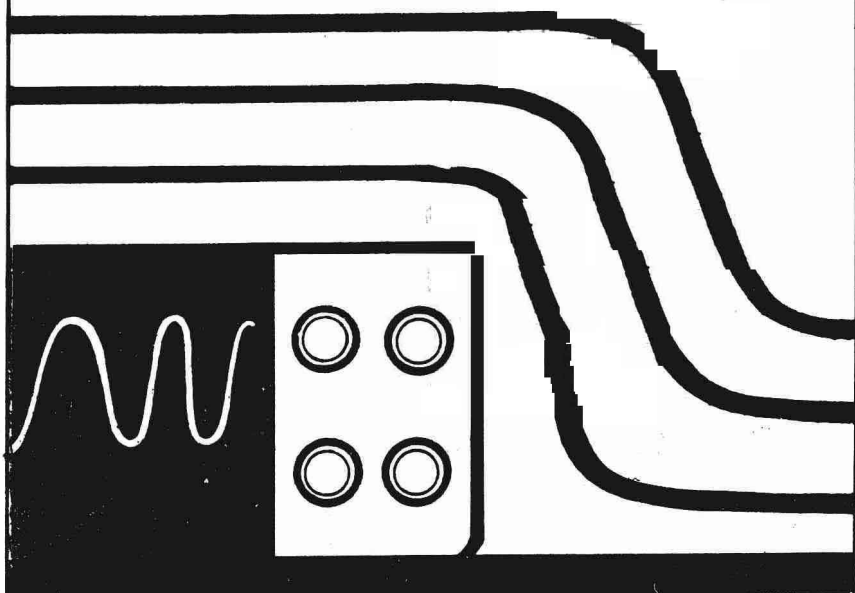
測試與應用

謝耀宗・李台生編著



示波器 2 測試與應用

謝耀宗 李台生



序

示波器在工程方面的使用不只是在電子工程，而在醫學上、物理上、化學上及機械上它都佔有重要的地位，可說使用非常廣泛，所以我們特別選擇示波器作為一系列電子儀表叢書的第二輯。

由於示波器的種類很多，用途亦廣，所以我們共分為三冊作詳盡的介紹，第一冊是選擇一般最常見的並在各級學校、工廠及實驗室中最常用的示波器作為說明分析的對象，本書為第二冊，專門介紹許多應用測量實例之方法，第三冊則介紹各種特殊用途示波器。這三冊適合於高工、大專及技術員、工程師教學、訓練及參考。

本書共分八章，第一章從示波器的規格測量開始，使讀者能真正的了解示波器各規格之意義。然後在第二、三章中再對頻率及相位的測量作進一步的說明。第四章是介紹如何利用示波器測量電子零件，在本章中有極為有用的方法。第五章介紹放大器之規格特性測量，本章的資料極有價值，尤其對於一般喜愛擴大機的朋友，更是難求的測量資料。第六章及第七、八章屬於AM/FM/MPX 接收機之規格特性測量，這三章的內容均可說是第一手資料，不僅一般讀者可作參考資料，更適合接收機工廠的技術人員的需要，極其實用。在附錄中，羅列了一批本書相關的儀器說明，這些儀器的詳細原理及操作應用我們有另書專門介紹，讀者可參考之。

我們為寫成此書，作了許多實驗，費了不少苦心，雖然盡量注意不許有失誤，但任何事情是沒有十全十美的，還望讀者先進不惜指教俾共同提高國內電子界的水準，並駕齊驅於歐美先進國家。

目 錄

第一章 示波器之規格與測試探棒	1
1-1 垂直放大器	1
1-2 水平放大器	18
1-3 觸發電路	21
1-4 陰極射線管	23
1-5 示波器測試探棒	24
第二章 頻率測量	33
2-1 橢圓基線之李賽交氏圖	33
2-2 旋輪線法之頻率觀測	35
2-3 強度調變法	43
2-4 頻率之直接觀測	45
第三章 相位測量	53
3-1 利用透明圖板觀測角度	54
3-2 相位差之測量法(一)	57
3-3 相位差之測量法(二)	58
3-4 相位差之測量法(三)	59
3-5 相位差之測量法(四)	61
第四章 示波器應用測量	65
4-1 電阻之測量	65

2 示波器測試與應用

4-2 電容之測量	66
4-3 電感之測量	71
4-4 阻抗之測量	74
4-5 變壓器之測量	82
4-6 電晶體之測試	84
4-7 場效電晶體之測量	98
4-8 運算放大器之測量	100
4-9 數位積體電路之測量	103

第五章 聲頻放大器之測量 105

5-1 聲頻放大器特性測量之標準情況	105
5-2 失真的原因與測量	106
5-3 輸出功率之測量	116
5-4 擴大機輸入靈敏度之測量	120
5-5 擴大機音色控制之測量	121
5-6 擴大機輸入阻抗之測量	124
5-7 擴大機左右聲道串音之測量	124
5-8 擴大機信號雜音比之測量	125
5-9 擴大機聲道平衡控制效果之測量	126
5-10 最低音量漏洩之測量	127
5-11 交流哼聲之測量	127
5-12 擴大機阻尼因素之測量	128
5-13 等化器特性之測量	129
5-14 交流損耗功率之測量	130

第六章 調幅接收機之調整與測試 131

6-1 中頻的調整	131
6-2 射頻的調整	136

6-3	AM接收機特性測量之標準情況	141
6-4	頻率範圍之測量	143
6-5	信號雜音比 S/N 之測量	143
6-6	靈敏度之測量	145
6-7	選擇度之測量	146
6-8	頻帶寬度之測量	147
6-9	AGC 與失真度之測量	148
6-10	輸入調諧電路之測量	150
第七章 調頻接收機的調整與測試		153
7-1	調頻波之觀測	153
7-2	中頻放大級與檢波級之調整	155
7-3	射頻之調整	157
7-4	FM接收機特性測量之標準情況	160
7-5	頻帶範圍之測量	163
7-6	信號雜音比 S/N 之測量	163
7-7	靈敏度之測量	164
7-8	選擇度之測量	164
7-9	輸入調諧電路之測量	166
7-10	自動增益控制 AGC 之測量	167
7-11	調幅之抑止度	167
7-12	自動頻率控制 AFC 之測量	167
7-13	失真度之測量	168
7-14	頻率偏移量之測量	169
第八章 調頻立體多工制解調器之調整與測試		171
8-1	波形之觀察	171
8-2	立體多工解調器的調整	173

8-3 分離度之測量	175
8-4 19/38 KHz 之輸出抑止度	175

附 錄

附錄一 示波器的規格說明	177
附錄二 National VP-383A 示波器	178
附錄三 真空管電壓表 VTVM	179
附錄四 真值有效值電壓表	180
附錄五 雙波道電子電壓表	181
附錄六 掃頻產生器	183
附錄七 AM 與 FM 信號產生器	189
附錄八 環形天線	192

1

示波器之規格與測試探棒

示波器廣泛的使用於電子、機械、物理、化學及醫學等，做為觀測電壓、頻率以及一切現象的工具。為了能正確的使用示波器，對於示波器的規格必須進一步的認識。一般示波器的精細度，可由其面板各旋鈕開關的測量範圍及動作情形判斷出，如果能再了解它的電氣性能，則在使用之時便更可得心應手。在第一冊示波器原理操作與應用中，曾大略的介紹示波器的規格，本章將詳細介紹各項的意義及測量方法，並敘及示波器的測試探棒以擴展測量的範圍。（示波器規格請參考附錄）

1-1 垂直放大器

示波器垂直放大部分包括四種重要性能：靈敏度（Sensitivity），頻帶寬度（Frequency range, Bandwidth），升起時間（Rise Time）與輸入阻抗（Input Impedance）。

靈敏度

示波器垂直端偏向靈敏度，一般都定義為電子束垂直掃描一公分（cm）或一方格（div）所須輸入垂直端的電壓值。例如在示波器 VP-5107A

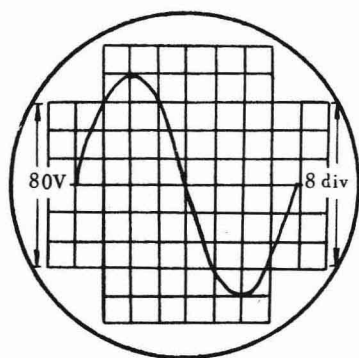
2 示波器的測式與應用

中垂直靈敏度共分爲九檔，由 0.02 v/div 至 10 v/div ，其最高靈敏度爲 20 mv/div 檔，最低靈敏度爲 10 v/div 檔。

示波器垂直範圍的刻度所代表的每方格電壓值必須當垂直微調 (Variable) 置於校準 (CAL) 的位置時才是正確值。垂直微調的變化量，一般都在二倍以上，若將此微調置於左旋最底位置，同時測出對右旋最底位置的衰減度，並適當配合範圍旋鈕，即可擴展測量的範圍。例如在圖 1-1(A) 中，示波器垂直範圍置於 10 v/div ，微調旋鈕置於 CAL 位置，則此時最大輸入僅爲 80 V ，超過 80 伏特 ，即超過觀測範圍。圖 1-1(B) 中，微調旋鈕左旋最底位置，所顯示的波形會減小只剩二格，則此時最大輸入

可觀測電壓可擴展至 $80 \text{ V} \times \frac{8 \text{ div}}{2 \text{ div}} = 320 \text{ V}$ 。我們更可利用帶有衰減器的

測試探棒，例如 $10:1$ 的探棒 (衰減度爲 $\frac{1}{10}$ ，參考 1-5 節) 來擴展測試的範圍。

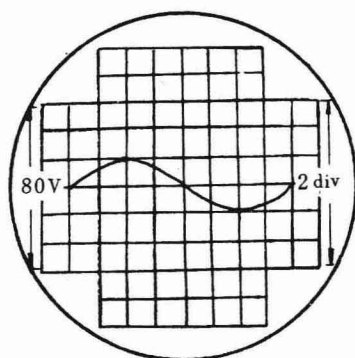


Vert Range : 10 V/div

Variable : CAL (右旋最低)

最大輸入可觀測電壓 : $10 \text{ V/div} \times 8 \text{ div} = 80 \text{ V}$

(A)



Vert Range : 10 V/div

Variable : 左旋最低

最大輸入可觀測電壓 : $80 \text{ V} \times \frac{8 \text{ div}}{2 \text{ div}} = 320 \text{ V}$

(B)

圖 1-1

頻帶寬度

垂直放大器的頻帶寬度是指以任一定電壓輸入該放大器（示波器垂直輸入的範圍開關可置於適當的位置），使垂直偏向一定高度的最高輸入頻率。換句話說，如果有一伏的電壓輸入垂直端，而示波器垂直範圍開關置於 1 V/div ，則必造成一方格的垂直偏向，但如果信號頻率增高或降至某一極限頻率時，所造成一方格的偏向必然減小。例如一般示波器垂直放大器頻帶寬度常寫成：DC 交連 DC-10MHz，AC 交連 2Hz-10MHz，即表示超過 10MHz 的極限頻率時，偏向高度漸減至某一程度。示波器的垂直放大器要有寬的頻帶寬度時即須有良好的瞬態響應（Transient Response）。換言之，示波器的垂直放大器需要具有一線性相位——頻率的響應。

圖 1-2 所示為一頻帶寬度曲線，利用振幅固定而頻率不同的電壓加入垂直放大器，即可繪頻率——偏向高度（或振幅）的曲線。圖 1-2 中實線表示一 0 至 10MHz 的頻帶寬度，由 0Hz（DC）至 1MHz，其高度接近相等。

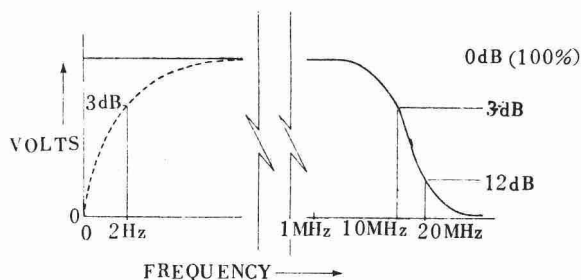


圖 1-2 頻帶寬度曲線

假設 DC 至 1MHz 的響應為 0dB 的衰減，當輸入頻率漸增高時（輸入振幅仍維持一定值），顯示於螢光幕波形高度漸減，減至 0Hz（DC）高度的 70.7% 時即在 10MHz 頻率點，此頻率點即為 -3dB 衰減點。-3dB 的高限與低限頻率點之間，即一般所稱的頻帶寬度。圖 1-2 中的實

線部份並無 -3dB 的低限頻率點，因示波器輸入端 AC/DC 切換開關置於 DC 輸入的位置，因此一般即僅由高限頻率點而稱之為“ 10MHz 示波器”

當垂直輸入 AC/DC 切換開關置於 AC 位置時，則必須考慮 -3dB 低限頻率點，如圖 1-2 中虛線所示的低頻響應曲線，其 -3dB 衰減點約在 2Hz 的位置，中頻與高頻部份的響應與低頻時相同。圖 1-2 中的曲線並非是平坦的響應，由最高值的 70.7% 升至 20Hz 時的 99% 再升至最高值，然後在 1MHz 時再降為 99.5% 。

圖 1-3 中，將 1MHz 至 10MHz 之間的頻率響應曲線部分展開，我們可由此曲線中觀察出 10MHz 示波器在測量時，高於 1MHz 所造成的誤差： $1\text{MHz} - 0.5\%$ ， $2\text{MHz} - 1.5\%$ ， $4\text{MHz} - 5.5\%$ ， $6\text{MHz} - 12\%$ ， $8\text{MHz} - 20\%$ ， $10\text{MHz} - 30\%$ 。

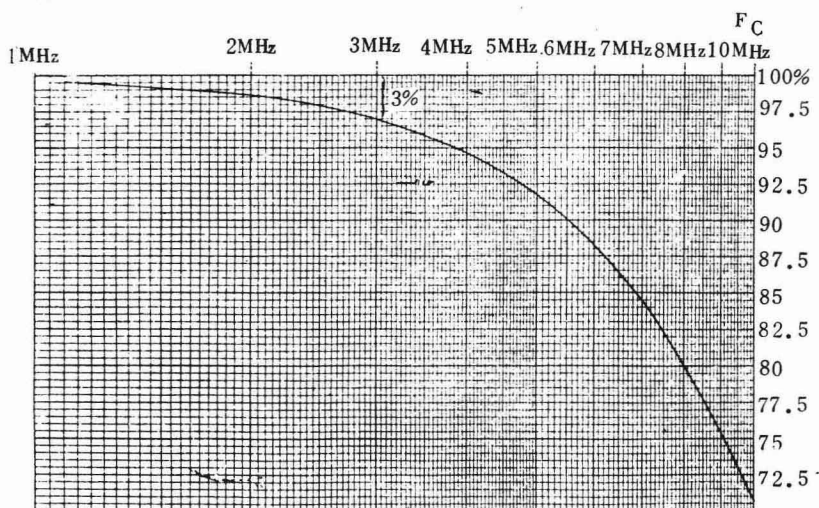


圖 1-3 頻率響應 1MHz 至 10MHz 之擴展

值得注意的一點，頻帶寬度與增益或垂直靈敏度有甚大的關係，例如 VP-5107A 示波器 其頻帶寬度標明為：DC 至 7MHz (-3dB) 振幅高度 4 方格，DC 至 5MHz (-3dB) 振幅高度 6 方格，這就表示當以 6 方格測

量觀察時，高限 -3dB 頻率點為 5MHz 。為什麼偏向高度不同所造成的頻帶寬度不同呢？由圖 1-4 我們可以明顯的看出，同樣的輸入，當增益較高時輸出振幅較高，則偏向高度亦高；反之，當示波器的垂直放大器加以適

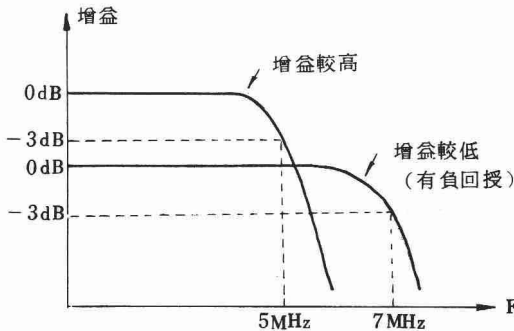


圖 1-4 增益與頻帶寬度的關係

當的負回授 (NFB) 而使增益降低，使偏向高度減低，但是卻增寬了響應曲線。所以在選用示波器時，示波器雖標明是 $0-10\text{MHz}$ ，然而必須注意偏向的高度，是滿格 (8 div) 或是其他指明的偏向方格數。

升起時間

一般測試放大器的頻率響應通常是採用方波來測試的，同樣的亦可採用方波來測試示波器的垂直放大器。

一個方波除基本波成份外，另含有無數的諧波成份存在，根據數學上的分析，一個方波的高頻成份存在於上昇與下降的兩個邊緣，而低頻成份則存在於平坦的部份，如圖 1-5 所示。如

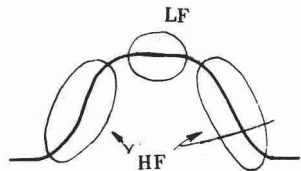


圖 1-5 方波成份解析

果我們加入一個如圖 1-6(A) 所示的“理想”方波到示波器的垂直放大器，由於示波器垂直部份各級放大電路與示波器偏向板之瞬態響應，對信號產生延遲，而造成圖 1-6(B) 的波形呈現於螢光幕。在第一冊中曾介紹過，所謂升起時間 (Rise Time) 是指由方波電壓由高度為 10% 升起至

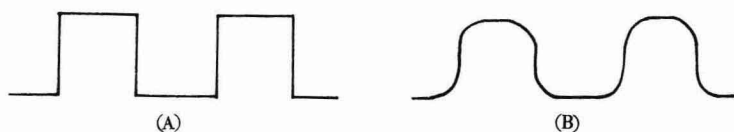


圖 1-6 (A) 理想方波，(B) 輸出呈現於螢光幕之方波

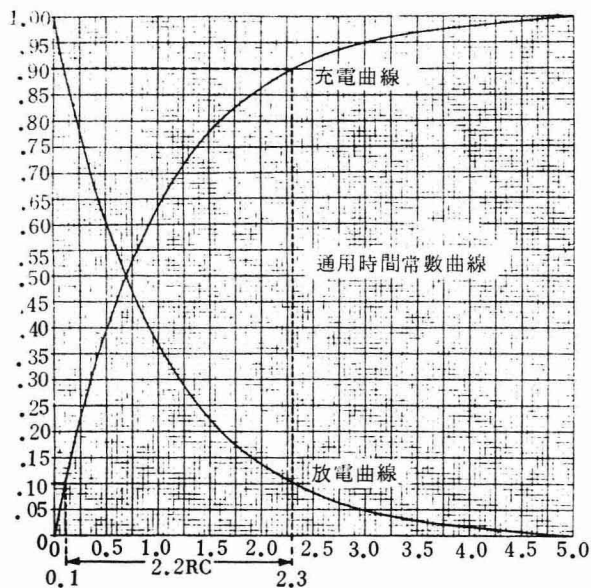
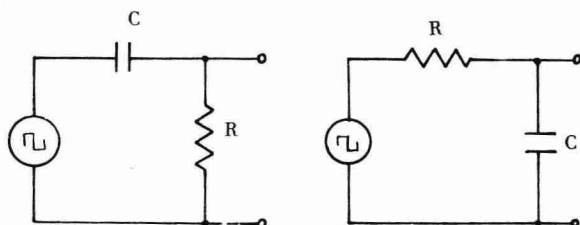


圖 1-7 RC 充放電曲線

90%所需的時間，同樣的，落下時間 (Fall Time) 是指方波電壓由高度

的 90% 降至 10% 時所需的時間。例如加一理想的方波至純 RC 電路，此電路之時間常數為 $\tau = RC$ ，其充放電曲線可由圖 1-7 來表示。由圖中充電曲線由零值升至峯值電壓的 10% 需時 $0.1RC$ ，升至 90% 時需 $2.3RC$ ，換句話說，升起時間 t_r (10% ~ 90%) 為 $2.2RC$ 。即

$$t_r = 2.2RC \dots\dots\dots (1-1)$$

一個單獨 RC 網路對理想方波的響應很容易了解，但是此方波對於串級的 RC 交連或直接交連的放大器響應如何？圖 1-8 表示每一放大器對輸入的響應。

輸入 —— 放大器 A1 輸入理想方波，其升起時間 t_r (10% ~ 90%) 為零。方波高度的 10% 與 90% 點皆同時在 t_0 時發生。

A1 —— 放大器的輸出方波之升起時間漸漸增加，並較 t_0 時延遲。其響應波形由 10% 的峯值電壓升至 90% 峯值電壓，同樣需時 $2.2RC$ 。(R, C 為放大器之輸出與次級輸入阻抗之並聯值)

A2 —— A1 的輸出為 A2 的輸入，其輸出更較 t_0 延遲多一些，並且升起時間 (10% ~ 90%) 更為增多。

A3 —— 方波高度的 10% 點愈落後 t_0 ，由 10% 升至 90% 的方波高度所需的時間 t_r 與延遲時間更再增加。由 0-10% 升起曲線部份亦漸圓滑，與 90% 升至峯值電壓時的曲線圓滑度幾近相同。

A12 —— 在最後一級放大器輸出波形中，其升起時間 t_r (10% ~ 90%) 顯著的增加，並且升起至方波高度的 10% 點更較 t_0 點延遲。此時輸出的響應對稱於峯值電壓的 50% 中間點，此種響應極相似於高斯響應 (Gaussian Response)。

比較圖 1-9 中具有相同升起時間的兩種響應，一種為 RC 響應，另一種為高斯響應。RC 響應由升起點 0% 急速升至 10%，其升起率幾近於直線；而由 90% 卻緩緩升至 99%，其所需的時間與 0% 升至 90% 時幾乎相等。

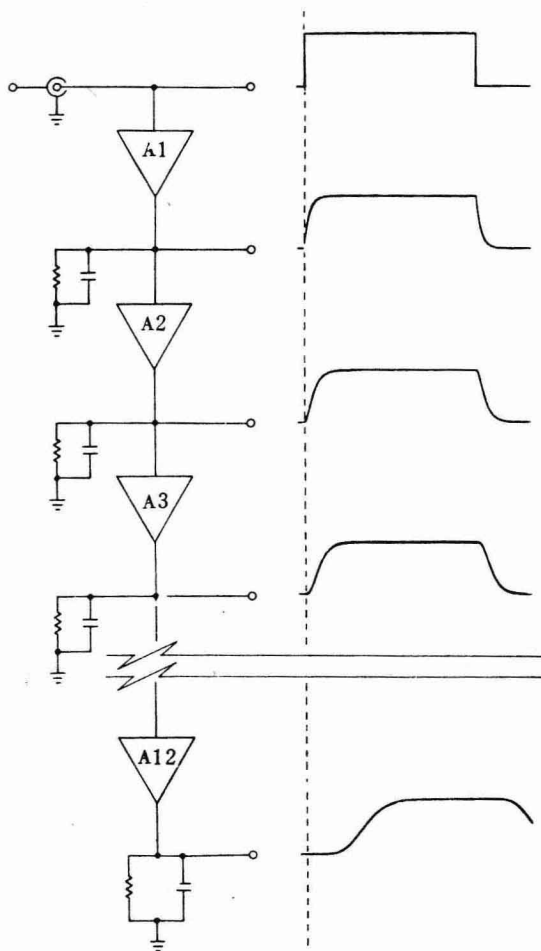


圖 1-8 串級 RC 放大器對理想方波的響應

在另一方面，高斯響應由 0% 升起至 10% 點甚為緩慢，在 10% 與 90% 之間的升起率近乎線性，然後升起至峯值電壓的最後 10% 的響應曲線相同於由 0% 升起至 10% 的曲線。

示波器垂直放大器的輸出響應，介乎於 RC 響應與高斯響應之間，但

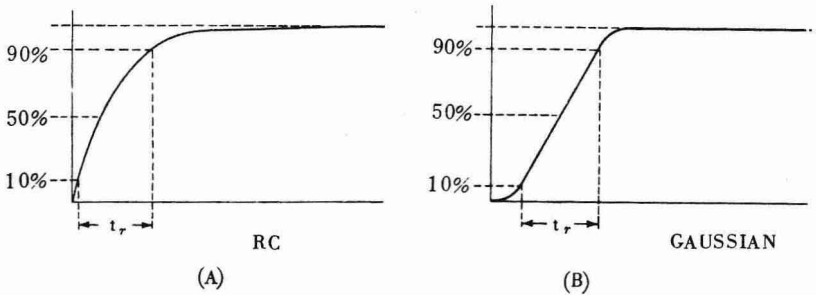
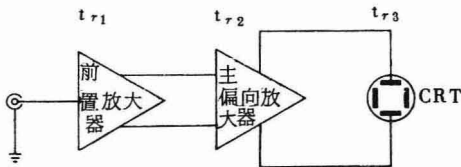


圖 1-9 方波之響應 (A) RC 響應 (B) 高斯響應

是真正能使輸出響應為高斯響應的放大器，極不容易辨到。一般垂直串級放大器的輸出響應可直接以高斯響應來表示。假設在圖 1-10 中，一理想方波加入示波器的垂直輸入端並經兩串級放大器，將波形顯示於螢光幕上，則顯示方波的升起時間可以下式來表示：

圖 1-10 CRT 顯示方波之升起時間 $t_r^2 = t_{r1}^2 + t_{r2}^2 + t_{r3}^2$

$$t_r = \sqrt{t_{r1}^2 + t_{r2}^2 + t_{r3}^2} \dots\dots\dots (1-2)$$

其中， t_r = 顯示於螢光幕上波形之升起時間。

t_{r1} = 前置放大器之升起時間。

t_{r2} = 主偏向放大器之升起時間。

t_{r3} = 陰極射線管之升起時間。

例如，假設 $t_{r1} = 3\mu s$ ， $t_{r2} = 4\mu s$ ， $t_{r3} = 10 ns$

$$\text{則 } t_r^2 = (3 \times 10^{-6})^2 + (4 \times 10^{-6})^2 + (10 \times 10^{-9})^2$$

$$= (9 + 16) \times 10^{-12}$$

$$t_r = \sqrt{25 \times 10^{-12}} = 5 \mu s$$

圖 1-10 可改畫成圖 1-11，一理想方波加入示波器垂直輸入端，在螢光幕上所呈現的波形之升起時間，即為此示波器的升起時間 t_{r0} 。例如，信號之升起時間為 t_{rg} ，示波器實際升起時間是 t_{r0} ，呈現於螢光幕波形為 t_{rd} ，如果 $t_{rg} = 0$ ，則呈現波形的升起時間即可表示為該示波器之升起時間 t_{r0} ，否則當 t_{rg} 不等於零時，則呈現於 CRT 波形之升起時間 t_{rd} 為：

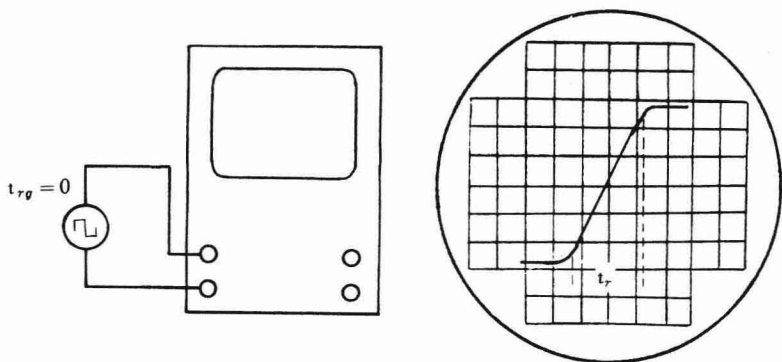


圖 1-11 示波器升起時間之測量

$$t_{rd} = \sqrt{t_{rg}^2 + t_{r0}^2} > t_{r0} \dots\dots\dots (1-3)$$

如此一來，除非 t_{rg} 小小於 t_{r0} 時，呈現於 CRT 的波形的升起時間 t_{rd} ，才可直接表示為示波器之升起時間 t_{r0} 。例如，如果某示波器之升起時間 t_{r0} 為 7 ns 左右時，則測量時，須以升起時間為小於 $\frac{1}{5} \times 7 \text{ ns} = 1.4 \text{ ns}$ 之方波才能得到正確之量度。

反過來說，如果要利用示波器來觀察方波的升起時間時，則方波升起時間 t_{rg} 須大於示波器升起時間 t_r 五倍以上，否則造成偌大的觀測誤差，例如，方波信號之升起時間 $t_{rg} = 7 \text{ ns}$ ，示波器實際升起時間 $t_{re} = 7 \text{ ns}$ ，兩個升起時間的比值 $t_{rg}/t_{r0} = 1$ ，則顯示在 CRT 之波形升起時間為：