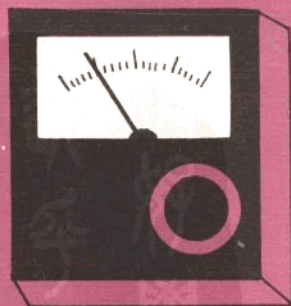
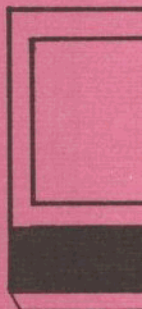
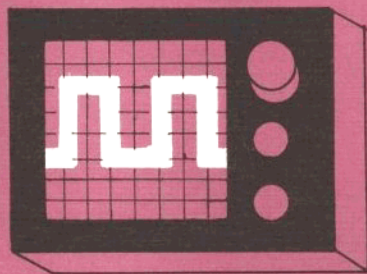
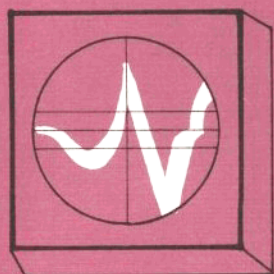


最新部訂課程標準

電子儀表(下)

謝耀宗・李台生 編著



全華科技圖書公司印行

編輯大意

1. 本書係遵照教育部六十三年二月教育部修訂公佈的高級工業職業學校機工科機械力學課程標準編輯而成。
2. 本書計分兩冊，上冊供機工科第二學年上學期，下冊供第二學年下學期，每週二小時授課之用。
3. 本書所用名詞，悉依照教育部公佈之機械工程、土木工程名詞為準，並附英文原名，以資對照。
4. 本書附有插圖甚多，同時對各重要公式之應用，皆附例題，以期學者能澈底瞭解。
5. 本書雖經悉心校訂，仍難免有瑕疵之處，敬祈諸先進不吝指正是幸！

編者謹識

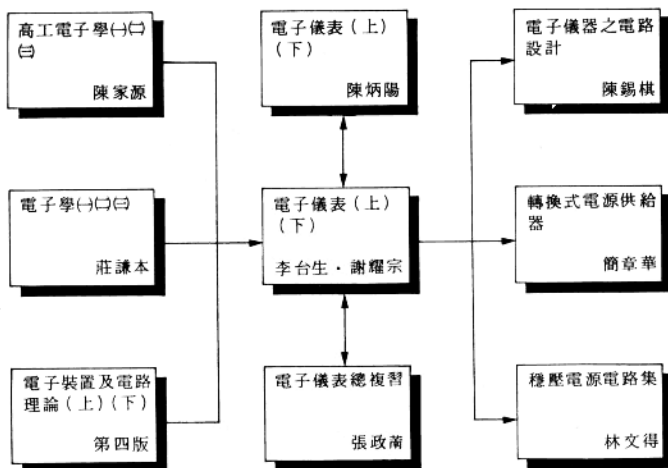
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的，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「電子儀表」呈獻給您，使您能正確的了解有關電子儀表的基本知識。本書以流暢的筆法，詳細介紹各重要觀念，並附有甚多插圖以幫助了解，同時對各重要公式之應用，皆附例題，以期學者能徹底了解。深信經由本書必可使您對基本電子儀表有一通盤的了解。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習有關電子儀表系列叢書，我們將全華公司一整套電子儀表系統叢書以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，並可使您具備有電子儀表方面完整的知識，希望您能善加利用。有關以下各書內容，如您覺得需要更進一步資料時，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。

流 程 圖



目 錄 (下 冊)

第九章 信號產生器(一)	235
9-1 概述	235
9-2 信號產生器的分類	236
9-3 振盪原理與振盪條件	240
9-4 音頻信號產生器	242
9-5 射頻振盪器	259
9-6 頻率倍頻器	269
9-7 差頻信號產生器	270
9-8 掃頻信號產生器	271
9-9 頻率合成器	274
9-10 方波脈波與鋸齒波產生器	275
9-11 負電阻振盪器	281
9-12 函數波產生器	286
9-13 正弦波整形電路	290
9-14 輸出定阻抗衰減器	292
第十章 信號產生器特性與實際電路分析(二)	295
10-1 概述	295
10-2 音頻信號產生器電路分析	298
10-3 射頻信號產生器電路分析	310
10-4 掃頻標誌產生器	314
10-5 調頻立體多工產生器	334

10-6	函數波信號產生器	341
第十一章 電子記錄式儀表		347
11-1	電子記錄系統	347
11-2	紙條移動式記錄器	348
11-3	$X-Y$ 記錄器	350
11-4	永磁動圈式記錄器	352
11-5	伺服機械式記錄式	354
第十二章 其他特殊儀表		257
12-1	頻譜分析儀	361
12-2	諧波失真儀	263
12-3	互調失真儀	265
12-4	數位計數器	365
12-5	點及方格模型信號產生器	368
12-6	彩色條紋產生器	370
第十三章 常用電子儀表規格—電路及使用說明		375
13-1	三用電表	382
13-2	真空管電壓表	388
13-3	音頻振盪器	390
13-4	射頻振盪器	395
13-5	立體多工信號產生器	398
13-6	AM 掃描標誌產生器	398
13-7	TV/FM 掃頻標誌產生器	401
13-8	函數波信號產生器	409
13-9	Q 值表	414
13-10	阻抗電橋	418

13-11	電晶體參數及特性曲線尋跡器	420
13-12	點、方格及彩條信號產生器	423
13-13	數位式頻率計數器	425
13-14	單束示波器	428
13-15	雙束示波器	436

9

信號產生器(一)

9-1 概 述

信號產生器(Signal Generator) 爲電子儀器中一種佔有重要地位的儀表，其應用的範圍極爲廣泛，無論是在實驗室或電子工廠中，常與示波器配合使用。例如在實驗室裏，常藉着信號產生器產生任一種特定的信號波形，如正弦波或非正弦波，加於某一實驗裝置或電路，再利用示波器來觀測裝置或電路的輸入與輸出波形的形狀，則依其輸入與輸出波形及振幅的變化即可以判斷出被測試裝置或電路的特性，如頻率響應，相移特性，增益以及穿越時間(Transition time) 等。在工廠裏，亦可以藉着信號產生器產生一特定的信號加於被測的產品中，以測試或調整產品的特性或規格：如利用音頻信號產生器來測定擴大機的頻率響應，輸出或失真程度等；利用射頻或掃頻(Sweep) 信號產生器來檢驗或調整收音機與電視機的中週，射頻放大器及接收範圍，並可用以測定出接收機的靈敏度或選擇性等等。

由於振盪電路的組成以及應用上的不同，振盪器具有多種不同的型態，如一般振盪器，信號產生器，脈波產生器以及函數波產生器等。一般的振盪器用以產生正弦波信號，其頻率與振幅可在一指定範圍內做微量的調整，

但有少部份的振盪器僅產生固定的單一頻率，做特殊用途，常配屬在其他型儀表或電路中，如 R.L.C 電橋測量表，Q 表，頻率表，週期測量表等等。信號產生器用以產生低頻或音頻，高頻或射頻的等幅信號，或是加有調制之調幅，調頻信號等。函數波產生器 (Function Generator) 用以產生非正弦波形（脈波，方波，三角波，昇波等）與正弦波形，本章將依次的介紹各種型式的振盪器與振盪電路。

9-2 信號產生器的分類

信號產生器的分類有很多種，表 9-1 是以電路的結構型式以及工作的頻率區分為回授型振盪器 (Feedback oscillators)，負電阻振盪器 (Negative-resistance oscillators)，電流充放電型等。

一般放大器可認為是一個主動元件，如果將輸出端的輸出電壓同相的回授到輸入端（即正回授），因而電路產生再生 (regeneration) 作用，如果利用此法設計的振盪器，稱為回授型振盪器。但有些主動元件如透納二極體 (Tunnel Diode) 本身即具有負電阻特性，只要有外加能量，很容易本身產生再生作用而振盪，反而需要負回授來使電路振盪穩定，此型式的振盪器稱之為負電阻型振盪器。第三種振盪器是利用電流在電容器上之充放電而產生振盪，電路型態較為特殊，請參看下文詳述。

表 9-1 信號產生器之分類

回授型振盪器	
RC 型回授	音頻產生器 (AF) 20 Hz ~ 20 KHz
LC 型回授	射頻產生器 (RF) 20 KHz ~ 30 MHz
	視頻產生器 DC ~ 5 MHz
晶體電路	高頻產生器 (HF) 1.5 ~ 30 MHz
	極高頻產生器 (VHF) 30 ~ 300 MHz
負電阻型振盪器	透納二極體振盪器
充放電型振盪器	函數波產生器 0.005 Hz ~ 3 MHz

一、回授型振盪器

回授型振盪器由於電路元件組成不同，可分為 RC 型回授，LC 型回授與晶體 (XTAL) 回授三種，如表 9-2 所示。

表 9-2 回授型振盪器

LC 回授型	RC 回授型	石英晶體
阿姆斯壯 考畢子 哈特萊 克列坡 范 卡 薛 勒 調屏或調集	相 移 韋恩電橋 雙 - T T 電橋	皮爾斯晶體式 (相當於考畢子 振盪式)。

LC 型振盪器 第一種類型的振盪器是由電感 L 與電容 C 組成之回授網路所構成，如一般常見的哈特萊式 (Hartley) 振盪器與考畢子 (Colpitts)

振盪器。如圖 9-1 所示，由 LC 所構成之電抗 Z ，可組成不同型態的 LC 振盪器，如圖 9-2 所示，克列坡 (Clapp)，薛勒 (Seiler) 及范卡 (Vackar) 的三種振盪電路與考畢子振盪電路極為相似，主要的區別是為了獲得更寬廣的調諧範圍與更佳的頻率穩定度。

石英晶體振盪器 石英晶體 (Crystal) 可以 LC 等效電路來表示，如

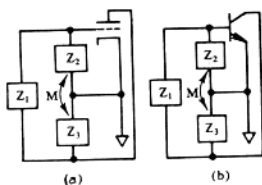


圖 9-1 (a) 真空管式 LC 振盪器。(b) 電晶體式 LC 振盪器 M 為互感， Z 為電抗 (L , C 或石英晶體)

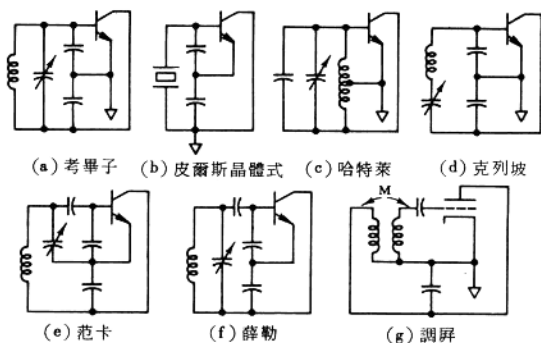


圖 9-2 LC 振盪電路

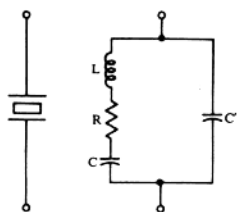


圖 9-3 石英晶體電路符號與等效電路

圖 9-3 所示為石英晶體的電路符號以及其電子等效電路。圖 9-2 (b) 所示之皮爾斯晶體振盪器 (Pierce Crystal)，即相當於考畢子式振盪器，其基本的差別是晶體式振盪器之調諧範圍較窄，但具有極佳的頻率穩定度 (frequency stability)。一般晶體式振盪器之頻率約在 100 KHz 以上，通常做為參考頻率或標準頻率信號產生器。

如果利用 LC 諧振電路來產生音頻信號，其電感量與電容量勢必增大。

例如欲產生 16 KHz 的音頻信號時， L 與 C 需分別為 10 mh 與 $0.01 \mu f$ ，假如要完成整個音頻可變的話， L 與 C 必須可變，而且容量更需增大，此大容量的可變電感或電容，體積必然龐大，同時技術上仍有困難，更無法控制振盪頻率之準確性和穩定度，因此僅能做為固定頻率之音頻振盪器。而且數毫亨以上的電感器常帶有鐵心，體積龐大且又容易感受外界電磁場的干擾，尤其是克服電源變壓器（60 Hz 交流電）的漏磁感應的問題更是困難。於是必須加裝隔離設備來克服外界電磁場的干擾，因此增加設計上及製造上的複雜，加上體積笨重，成本提高，不適合為低頻振盪器所採用。一般的音頻振盪器，便改用 RC 型回授網路，如圖 9-4 所示，相移電路、韋恩電橋、T—電橋與雙 T 電橋來構成。RC 回授型振盪器，構造簡單、輕巧、價廉，而且可藉改變 R 與 C 的數值，便可使振盪的頻率由數赫（Hz）改變至數百千赫（KHz）以上。RC 振盪器可分為相移振盪器（Phase Shift Oscillator）與橋路振盪器（Bridge Oscillator）兩大類。

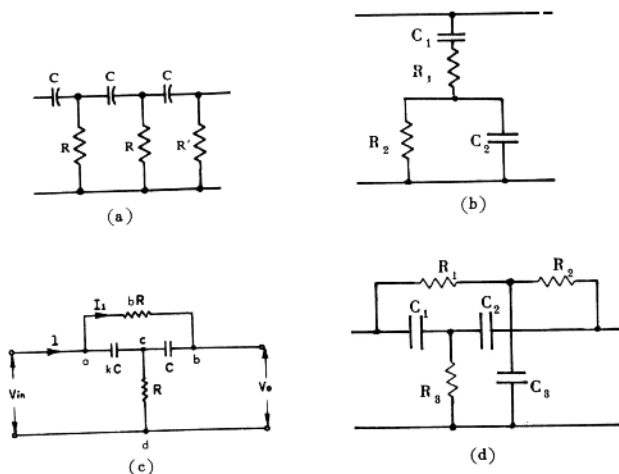


圖 9-4 RC 回授網路 (a) 相移電路 (b) 韋恩電橋 (c) T 電橋 (d) 雙 T 電橋

後者由於振盪頻率之範圍很廣，且頻率調變方便，一般音頻信號產生器便常採用之。而 RC 相移振盪電路之振盪頻率調變範圍較小，故只適合作為固定頻率振盪器。如應用於射頻信號產生器中 400 Hz 調變信號的產生。

二、負電阻型振盪器

有很多的主動性元件 (Active Elements)，例如四極真空管 (Tetrode) 透納二極體 (Tunnel Diode)，霓虹管以及單結晶體 (UJT)，都具有負電阻特性區域。往往利用這些元件的負電阻特性設計成振盪器，如利用四極真空管的負電阻特性區域配合 LC 諧振網路，構成一種振盪器，稱為 Dynatron。如利用透納二極體的負電阻特性同樣可成為極高頻 (VHF) 的振盪器。

三、充放電型振盪器

RC 回授型與 LC 回授型網路無法產生非正弦波，而且如果需要有極低頻率數毫赫 (mHz) 以下頻率時，更受到 R、L、C 元件的影響，更無法達成，因此便改用充放電型振盪器。利用定電流在電容器上的充放電作用而形成振盪。例如函數波產生器及多諧振盪器 (Multivibrator)，都是利用 RC 充放電的方式來完成振盪。

9-3 振盪原理與振盪條件

一個交變（因時間而變）的電壓或電流，稱之為信號 (Signal)，而信號可由多種不同的電子電路來產生，則產生信號的裝置稱之為振盪器，例如信號產生器、函數波產生器、脈波產生器以及信號合成器 (Signal Synthesizer) 等。所有的裝置，皆是將直流 DC 的能量加入裝置後，產生因時間而變的交變信號 $f(t)$ 於輸出端，如圖 9-5 所示。大部份的信號產生器，其輸出皆為週期性，只有散彈雜音 (Random Noise Generator) 產生器的輸出是一連串不規則性的雜音信號。

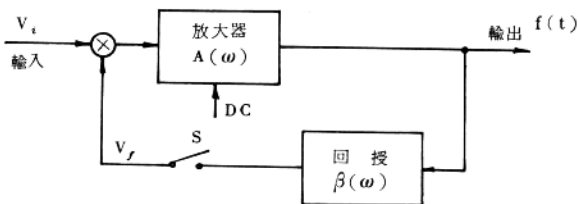


圖 9-5 信號產生基本原理

在電路中，振盪係指電子流在一特定的網路內，作往復不停地流動，週而復始。而振盪的發生，必須使振盪體或振盪電路在適當時間內，外加一動能，而且能彌補振盪能量損失，才能維持振盪繼續不停。因此電路須接受正回授量之電能補償而發生振盪。

回授網路振盪之建立，必須具備有三個充分必要的條件：(1)正回授，(2)充分彌補振盪回路之損失，亦就是放大器的增益，(3)相移特性。

正回授 放大器的回授有正回授 (Positive Feedback) 與負回授 (Negative Feedback) 兩種，負回授是指由輸出端回饋至輸入端之信號相位相反，因此能使電路更穩定。如果由輸出回饋至輸入端之信號相位相同，反使輸出增大，因而使放大器產生再生作用，即構成振盪。

增益 放大器的增益須足夠的高，以彌補振盪電能的損失。例如在圖 9-5 中，放大器的增益為 A ，若輸入 v_i 為 1 伏，則在無回授的情況下，輸出應為 A 伏，但是在回授網路其衰減因素為 β ($\beta < 1$)，則在回授網路的輸出端 v_f 為 $A\beta$ 伏，如果 $A\beta = 1$ 伏時，則除去放大器的原有輸入 1 伏，而改接回授輸入時，恰能彌補電路的損失。如果 $A\beta < 1$ 時，則不能完全彌補損失，便無法構成振盪。

相移 正回授時，由輸出端回饋至輸入端的相位，並不完全同相，因此雖有正回授及足夠的增益仍無法構成振盪，必須回授電壓與輸入完全同相時，才能產生振盪。因此構成振盪的基本條件，可以下式表示：

$$A(\omega)\beta(\omega) = 1 \angle 0^\circ \quad (9-1)$$

$A(\omega)$: 放大器的增益。

$\beta(\omega)$: 回授量。

$A(\omega)$ 與 $\beta(\omega)$ 皆因頻率而變, 換言之, $A(\omega)$ 與 $\beta(\omega)$ 在各頻率下之相移並不完全相同, 而僅在兩者乘積為 0° 時, 才能使振盪成立。

9-4 音頻信號產生器

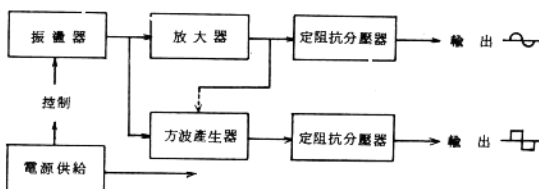


圖 9-6 音頻信號產生器方塊圖

音頻信號產生器的基本結構如圖 9-6 所示。一個信號產生器應包括振盪器、放大器、方波產生器、定阻抗分壓器及電源供給器。振盪器藉正回授的作用而產生一正弦波訊號輸送到放大器或方波產生器, 放大器將振盪器的輸出先經過由隨耦器(陰極隨耦器, 射極隨耦器, 源極隨耦器等)所構成緩衝器(Buffer), 以避免放大器影響振盪器的頻率, 使產生器的穩定度提高, 然後經過一連串的放大器將信號放大, 再經過隨耦器及定阻抗的分壓電路, 將輸出分成許多範圍, 使改變輸出範圍時不致影響產生器的輸出阻抗。振盪器的另一輸出接至方波產生器的輸入用以控制方波產生器的輸出頻率。方波產生器常採用樞密特觸發電路(Schmitt Trigger), 多諧振盪器(Multivibrator)或方波整形電路, 其輸出再經過獨立的定阻抗分壓電路或與正弦波之定阻抗分壓電路合用。常見的 RC 型音頻振盪器, 其

頻率皆是由 RC 的數值來決定。

相移振盪器 RC 相移振盪器可分為相角引前相移振盪器 (Phase Lead phase shift Oscillator) 與相角滯後振盪器 (Phase Lag phase shift Oscillator) 等二種。如圖 9-7 所示之三節 RC 高通電路與相角引前相移特性。三節之 RC 高通電路對頻率具有選擇性，設輸入電壓為 e_i ，輸出電壓為 e_o ，則克希荷夫定律得

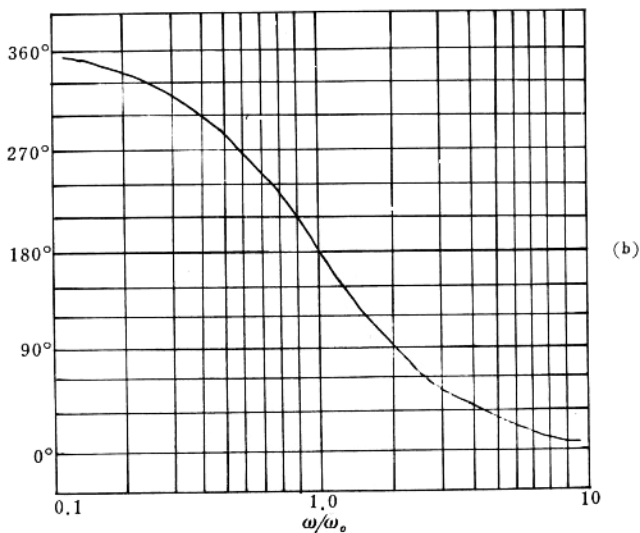
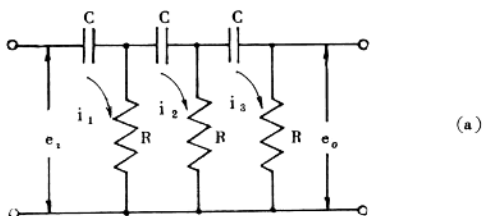


圖 9-7 相移網路相移特性

$$i_3 = \frac{e_i R^2}{R^3 - 5RX_c^2 - j(6R^2X_c - X_c^3)} \quad (9-2)$$

假設 β 為轉移函數 (Transfer function)，其大小為輸出電壓 e_o 與輸入電壓 e_i 之比值，則

$$\beta = \frac{e_o}{e_i} = \frac{i_3 R}{e_i} = \frac{R^3}{R^3 - 5RX_c^2 - j(6R^2X_c - X_c^3)}$$

若 $\alpha = \frac{1}{\omega RC}$ ，其中 $X_c = \frac{1}{\omega C}$

$$\text{則 } \beta = \frac{1}{1 - 5\alpha^2 - j(6\alpha - \alpha^3)} \quad (9-3)$$

當 (9-3) 式中之虛數部分為零時，即

$$-j(6\alpha - \alpha^3) = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \quad , \quad \text{或 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \quad (9-4)$$

上式代入 (9-3) 式，則在 $\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$ 時，轉移函數 β 為

$$\beta = -\frac{1}{29} \quad (9-5)$$

(9-4) 式與 (9-5) 式即表示三節 RC 相移網路的相移特性，當在 $f =$

$\frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ 時，此網路的回授因素 $\beta = -\frac{1}{29}$ ，其中“-”號表示在這頻率時，輸出電壓 e_o 與輸入電壓 e_i 相位恰巧相差 180° 。在圖 9-7(b) 中可很清晰的看出。

圖 9-8 中，為一單級的電晶體所組成的放大器，其集極經一電阻 R_L 為負載接至 V_{cc} ，而 R_b 供給一適當的偏壓加於基極。放大器的輸出一部份經三節 R 與 C 所組成的回授網路回授一電壓至電晶體的基極。由於電晶體的放大作用，倒相 180° ，而 RC 相移電路在特定頻率 (RC 之選擇頻