

固態脈波電路學

編著者

吳 朗

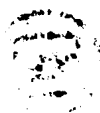
興業圖書股份有限公司印行

固態脈波電路學

編著者

吳 朗

興業圖書股份有限公司印行



固態脈波電路學

版權所有 • 翻印必究

編著者：吳 朗

發行人：王 志 康

出版者：興業圖書股份有限公司
印刷者

台南市勝利路一一八號

電話：三七三二五三號

新聞處登記證：局版台業字第 0410 號

定價
平裝本 150 元
精裝本 200 元

中華民國六十八年三月出版

目 錄

第一章 波形

- 1-1 波形之型式..... 1
- 1-2 脈衝波形之特性..... 7
- 1-3 波形之諧波成分..... 13

第二章 電容之電阻

- 2-1 CR 電路的工作..... 24
- 2-2 CR 電路對方波的響應..... 34
- 2-3 積分電路..... 37
- 2-4 微分電路..... 41

第三章 二極體交換

- 3-1 二極體的開關用途..... 50
- 3-2 齊納二極體..... 53
- 3-3 二極體截波電路..... 54
- 3-4 二極體定位電路..... 63

第四章 電晶體

- 4-1 理想電晶體開關..... 75
- 4-2 實用電晶體開關..... 77

4-3	電晶體交換時間.....	82
4-4	交換時間的改善.....	85
4-5	接面場效電晶體 (TFET) 開關.....	90
4-6	MOSFET 開關.....	93
4-7	CMOS 開關.....	94

第五章 反相器電路

5-1	直接耦合雙極電晶體反相器.....	98
5-2	電容器耦合反相器電路.....	104
5-3	JFET 反相器電路.....	110
5-4	IC 運算放大器反相器.....	112

第六章 Schmitt 觸發電路

6-1	Schmitt 觸發電路的工作.....	118
6-2	已知上部觸發點的設計.....	110
6-3	UTP 及 LTP 的分析.....	123
6-4	已知UTP及LTP的設計.....	126
6-5	加速電容器之選擇.....	128
6-6	輸出/輸入特性.....	128
6-7	用作Schmitt觸發電路的IC運算放大器.....	130

第七章 斜波產生器

7-1	CR 斜波產生器.....	138
7-2	定流斜波產生器.....	141
7-3	UJT 弛緩振盪器.....	146
7-4	可計劃UJT弛緩振盪器.....	150
7-5	電晶體靴帶式斜波產生器.....	153

7-6	IC 軌帶式斜坡產生器.....	158
7-7	自由轉動斜坡產生器.....	161
7-8	米勒積分電路.....	163
7-9	三角波形產生器.....	168
7-10	CRT 時基.....	171

第八章 單定態及非穩定複振器

8-1	集極耦合單定態複振器.....	174
8-2	集極耦合單定態複振器之設計.....	178
8-3	單定態複振器之觸發.....	185
8-4	射極耦合單定態複振器.....	191
8-5	用作單定態複振器的 IC 運算放大器.....	194
8-6	IC 單定態複振器.....	195
8-7	非穩定複振器.....	

第九章 雙定態複振器

9-1	集極耦合雙定態複振器.....	204
9-2	集極耦合雙定態複振器的設計.....	206
9-3	射極耦合雙定態複振器.....	209
9-4	集極觸發.....	218
9-5	基極觸發.....	222
9-6	射極觸發.....	227
9-7	IC 正反器.....	229

第十章 邏輯閘

10-1	二極體“及”閘.....	237
------	--------------	-----

10-2	二極體“或”閘·····	240
10-3	正邏輯與負邏輯·····	241
10-4	二極體~電晶體邏輯(DTL)·····	242
10-5	扇入及扇出·····	246
10-6	高臨界邏輯·····	249
10-7	電阻器~電晶體邏輯(RTL)·····	251
10-8	電晶體~電晶體邏輯(TTL)·····	254
10-9	射極耦合邏輯(ECL)·····	257
10-10	互補MOSFEL邏輯(CMOS)·····	261
10-11	主要IC邏輯種類的比較·····	263

第十一章 抽樣閘

11-1	二極抽樣閘·····	266
11-2	雙極電晶體的串聯閘·····	267
11-3	雙極電晶體的並聯閘·····	271
11-4	場效電晶體串聯閘·····	274
11-5	JFET並聯閘·····	276
11-6	MOSFET的抽樣閘·····	278

第十二章 數位計數

12-1	正反器的串接·····	281
12-2	十進的計數器·····	285
12-3	積體電路計數器·····	289
12-4	數字頻示器或讀出器·····	293
12-5	二進到十進轉換·····	300
12-6	七段LED顯示器的推動器·····	305
12-7	一萬進位的計數器·····	308

12-8	計數器的控制	309
------	--------	-----

第十三章 數位頻率計和數位伏特計

13-1	定時系統	313
13-2	門電路	316
13-3	數位頻率計	317
13-4	數位伏特計的雙斜率積分器	320
13-5	數位伏特計	324

第十四章 脈衝調變及雙工制

14-1	脈衝調變的頻率	328
14-2	PAM調變及解調	331
14-3	PDM調變及解調	333
14-4	PPM調變及解調	336
14-5	劃時分工	337
14-6	PCM調變及解調	345

第一章 波形 (Waveforms)

導言

脈衝波形通常是指近似於正方波形的項目，但是，在學習脈波電路時，所討論的却包含很多不同種類的波形。波形一詞通常是以幅度及時距的測量來加以定義。每一種波形都包含有很多較高頻率的弦波成份，這些弦波成份則稱之為諧波 (harmonics)。由研究諧波我們就可以得知，放大器的帶寬 (band with) 及由放大器輸出的方波 (square wave) 裡所存在的失真之關係。

1-1 波形之型式

1-1-1 重複波型與暫態

當某一數量相對另一數量來變化時，它們之間的關係可用圖表畫出。如此，對半導體二極體而言， I_F 相對於 V_F 的關係圖形則表示此一裝置的順向特性〔參閱圖 1-1 (a)〕。相似地，圖表也可以用來表示某一數量對時間的變化關係。直流電壓或電流對時間的圖形通常為一直線，如圖 1-1 (b) 所示。交流電壓，如其各字所暗示，其大小隨着時間而增減。如果以瞬間電壓準位 v 對時間 t 來作圖，所得到的圖形則稱為電壓波形。圖 1-1 (c) 所表示的是正弦波交流電壓瞬間值對時間的圖形。由圖上可知，電壓朝正向增加至峯值，然後下降通過零點而到達負峯值，再折返至零點，此一週期性的變化不斷的繼續下去。因此正弦波所表示的是一個對時間具有正弦關係的電壓 (或電流)

2 固態脈波電路

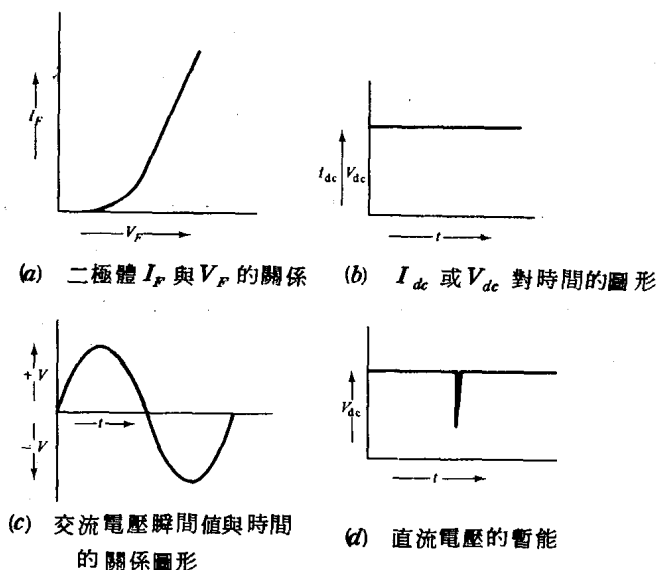


圖 1-1 表示兩數量關係的各種圖形

重複週期，任何由相同週期重複出現而合成的波形均稱之為重複波形或週期性波形 (repetitive waveforms or periodic waveforms)。在研究這些波形的時候，我們只需要考慮其中一個週期就可以完全了解其行為。當交流電壓各連續週期不相似時，所構成的波形則稱之為非週期性 (aperiodic)。

有時候當負載突然連接於電源時，直流電壓會在一很短的瞬間裏突然減少 (或增加)，然後重回它原來的位準 [圖 1-1(d)]。此一很短的非重複性波形則稱為暫態 (transients)。

1-1-2 顯示方法

因為一般電流，電壓波型 (重複性及非重複性) 都在毫秒或微秒的週期裏出現，所以使用人工測量不可能得到此一瞬間位準的表示圖形。因此必須使用儀器來求電壓或電流對時間的關係圖形。此類儀器之一為 strip chart recorder (圖 1-2)，它是利用筆或其他儀

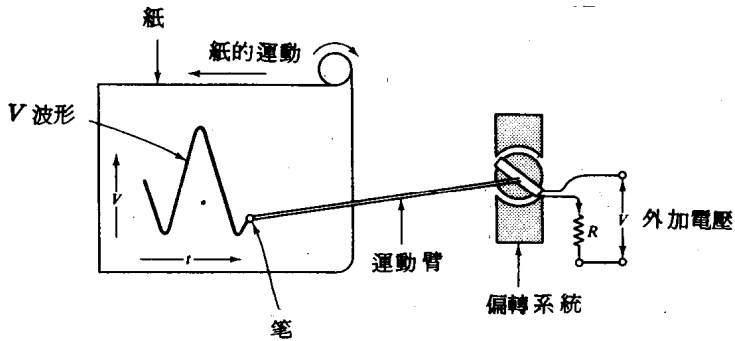


圖 1-2 使用 strip chart recorder 來描繪波形

器將波形描寫於運動的紙條上。筆的垂直運動與外加電壓的瞬間數值成比例，同時紙條以等速度來運動，因此水平軌跡與時間成正此。有些儀器則以光束來取代移動臂及筆，然後使用運動鏡片來將光束反射

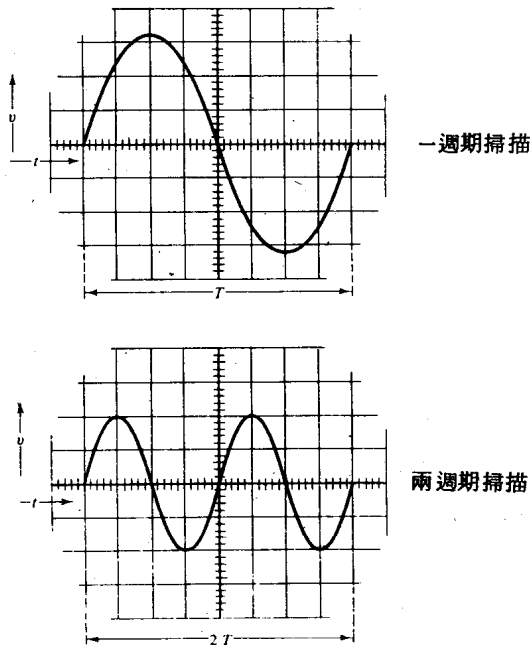


圖 1-3 以陰極射線示波器來掃描的波形

4 固態脈波電路

於照相描繪紙上。

雖然圖表記錄器可以得到波形的永久記錄，但它只能用在低頻波形方面。而陰極射線示波器 (cathode-ray oscilloscope) 則有較高的頻率響應，因此在研究電的波形時具有較為廣泛的用途。在示波器裏，電子束打擊於螢光幕上，以產生顯示波形的光點。在示波器螢幕上水平綫與時間成比例，(圖 1-3)。當被電壓垂直偏轉的電子束消失時光點就會形成一條綫。光點自螢幕的左方開始往右方來移動，當到達波形一 (或多個) 週期的末端時，它立刻折返螢幕的左方。因此，重覆的波形不斷的出現在螢幕上。如果需要波形的永久記錄，則必須使用照相機將示波器所顯示的波形拍攝下來。照相機同時也可以用來攝取在短暫時間內出現於螢幕上的暫態現象。

1-1-3 各種波形

正弦 大部份的電氣波形都為正弦波，如圖 1-3 所示。半波整流將移去正弦波的負 (或正) 半周 [圖 1-4 (a)]，而全波整流將可以產生一連串單向性的半正弦波，如圖 1-4 (b) 所示。

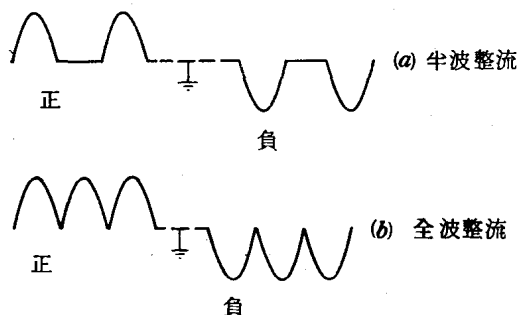
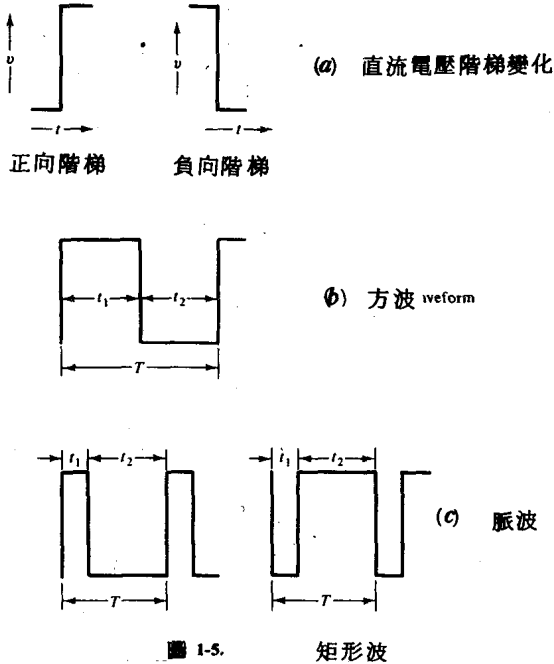


圖 1-4 整流正弦波

矩形 當直流電壓突然自某一位準變化至另一位準時，此一變化則稱為階梯變化 (step change)。此一變化可為正或負，如圖 1-5 (a) 所示。矩形波是由正階梯變化與負階梯變化週期性出現所形成

的波形。當高直流位準的時限 t_1 與低直流位準的時限 t_2 相等時，所得到的波形則稱為方波〔圖 1-5 (b)〕。當 t_1 與 t_2 不相等時，波形則稱為脈衝波形，如圖 1-5 (c) 所示。



斜坡 當電壓相對於時間以一恒定的速率來增加或減少時，它的圖形則為一正或負的斜坡〔圖 1-6 (a)〕。在正斜坡之後跟隨着負斜坡，所產生的波形則稱為三角波形〔圖 1-6 (b)〕。當某一斜坡較另一斜坡為之陡峭時，所形成的波形則稱為鋸齒波形，如圖 1-6 (c) 所示。

指數 在此一情況裏，電壓相對於時間的變化可以用方程式 $V = e^{kt}$ 或 $V = e^{-kt}$ 來表示，其中 t 為時間， k 為常數，而 e 為指數常數 ($e = 2.718$)。其關係如圖 1-7 (a) 所示。正及負指數的重覆週期可以產生所謂的指數波形，如圖 1-7 (b) 所示。在階梯變化之後，跟

6 固態脈波電路

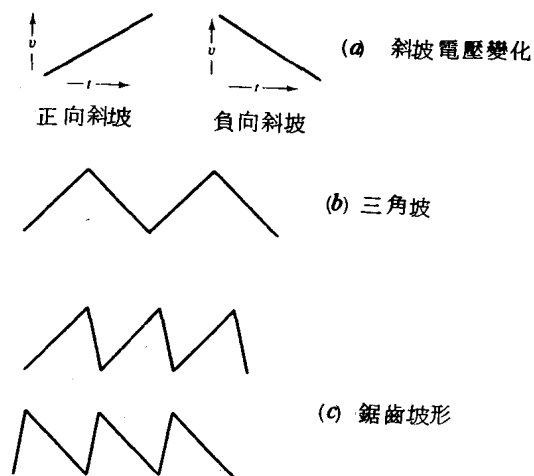


圖 1 - 6 斜坡

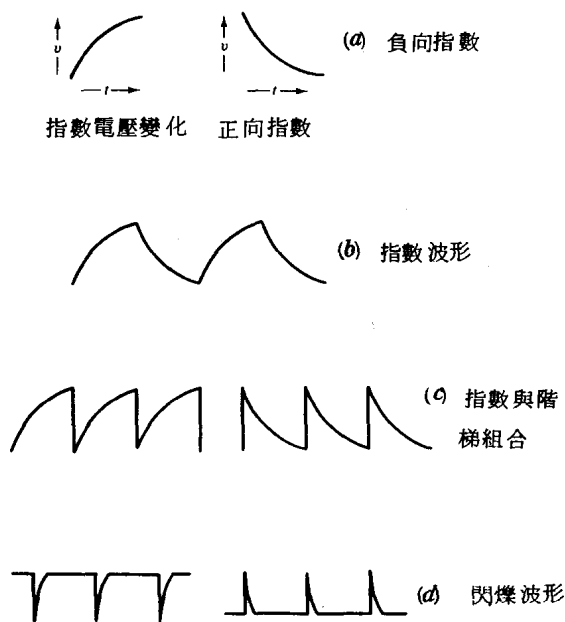


圖 1 - 7 指數波形

隨着一個指數變化則可以得到如圖 1-7 (c) 所表示的波形。兩者間介入一個間隙則可產生如圖 1-7 (d) 所示的閃爍波形。由此可知如果將上面所討論的兩或多個波形加以組合時將可以得到多種不同的波形變化。

1-2 脈衝波形之特性

考慮如圖 1-8 所示的理想脈衝波形。在此一特別情形裏，脈衝高出於地點是為正，脈衝幅度則為自地點測量至脈衝頂部的電壓。脈衝的第一個邊端（在 $t=0$ ）稱為領前端（leading edge），而第二個邊端則稱為拖曳端（trailing edge）或滯後端（lagging edge）。

時間週期（time period） T 是指從第一個脈衝的領前端測量至第二個脈衝的領前端之時間。如果 $T=1$ 秒，則脈衝重複頻率（pulse repetition frequency, PRF）為 1 週期/秒或每秒一脈衝（PPS），或 $PRF = 1/T$ pps。有時候會使用脈衝重複率（pulse repetition rate PRR）來代替脈衝重複頻率。

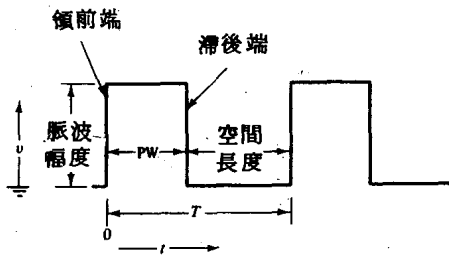


圖 1-8 理想脈波

自某一脈衝的領前端測量至它的滯後端的時間稱為脈寬（pulse width, PW），脈限（pulse duration, PD）或有時稱為標誌長度（mark length）。脈衝之間的時間則稱為空間長度（space width）。被脈衝所佔有的時間週期之比率被定義為任務週期（duty

8 固態脈波電路

cycle) , 或稱為標誌對空間 (M/S) 比值 (mark-to-space ratio) 。

$$\text{任務週期} = (PW/T) \times 100\% \quad (1-1)$$

及

$$M/S \text{ 比值} = PW / \text{空間寬度} \quad (1-2)$$

任務週期通常是以百分率來表示，而標誌對空間比值則是一純數比值。

【例題 1-1】

對圖 1-9 所示的脈衝波形來求脈衝幅度，PRF，PW，任務週期及 M/S 比值。垂直標尺為每格一伏特，而水平標尺為每格 0.1 毫秒 (ms) 。

【解答】 脈衝幅度 = 3.5 格 $\times$ 1 伏特 / 格

$$= 3.5 \text{ 伏特}$$

$$T = 6 \text{ 格} \times 0.1 \text{ 毫秒 / 格}$$

$$= 0.6 \text{ 毫秒}$$

$$PRF = 1/T = 1/0.6 \text{ 毫秒} = 1666 \text{ pps}$$

$$PW = (2.5 \text{ 格}) \times (0.1 \text{ 毫秒 / 格})$$

$$= 0.25 \text{ 毫秒}$$

$$\text{空間寬度} = 3.5 \times 0.1 \text{ 毫秒} = 0.35 \text{ 毫秒}$$

$$\text{任務週期} = \frac{PW}{T} \times 100\% = \frac{0.25 \text{ 毫秒}}{0.6 \text{ 毫秒}} \times 100\%$$

$$= 41.6\%$$

$$M/S \text{ 比值} = \frac{PW}{\text{空間寬度}} = \frac{0.25 \text{ 毫秒}}{0.35 \text{ 毫秒}} = 0.71$$

圖 1-9 所顯示的脈衝，其頂部完全平坦，同時兩邊也完全垂直。實際上無論如何小心處理，脈衝的頂部都不可能完全平坦。滯後端的幅度通常都較領前端的為小。在很多情況裏，頂部的傾斜度很小，

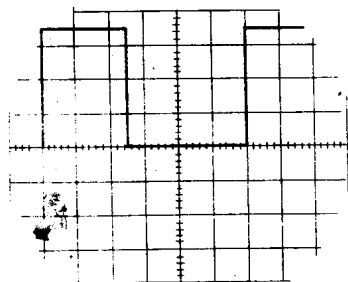


圖 1-9 示波器上的脈波波形

因此難以測知。在某些情況裏，如圖 1-10 所示，頂部的傾斜十分明顯。脈衝電壓並不是在瞬間自零升到最大位準，同時自最大值降至零位也不是在瞬間裏發生。實際上，在脈衝的領前端及滯後端都存在有固定的上升時間 (rise time) t_r 及下降時間 (t_f)。此一時間也顯示在圖 1-10 裏。

在圖 1-10 (a) 裏， E_1 為最大脈衝幅度， E_2 為最小幅度的，而 E 表示平均脈衝幅度：

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

上升時間是指電壓從平均幅度的 10 % 上升至 90 % 所需要的時間。相似的，下降時間是指脈衝從平均幅度的 90 % 下降至 10 % 所需要的時間。如果以平均幅度來定義波形頂部的斜率或傾斜度 (tilt) 時，則

$$\begin{aligned} \text{傾斜度} &= \frac{E_3}{E} \times 100 \% & (1-3) \\ &= \frac{E_1 - E_2}{E} \times 100 \% \end{aligned}$$

圖 1-10 (b) 所示為一對地點成對稱的方波。雖然存在有明顯的傾斜，但實際上，領前端與滯後端的幅度相等。如果 E_1 表示領前端的幅度，及 E_2 表示滯後端的幅度，則 (1-3) 式將給予為零的傾斜度。