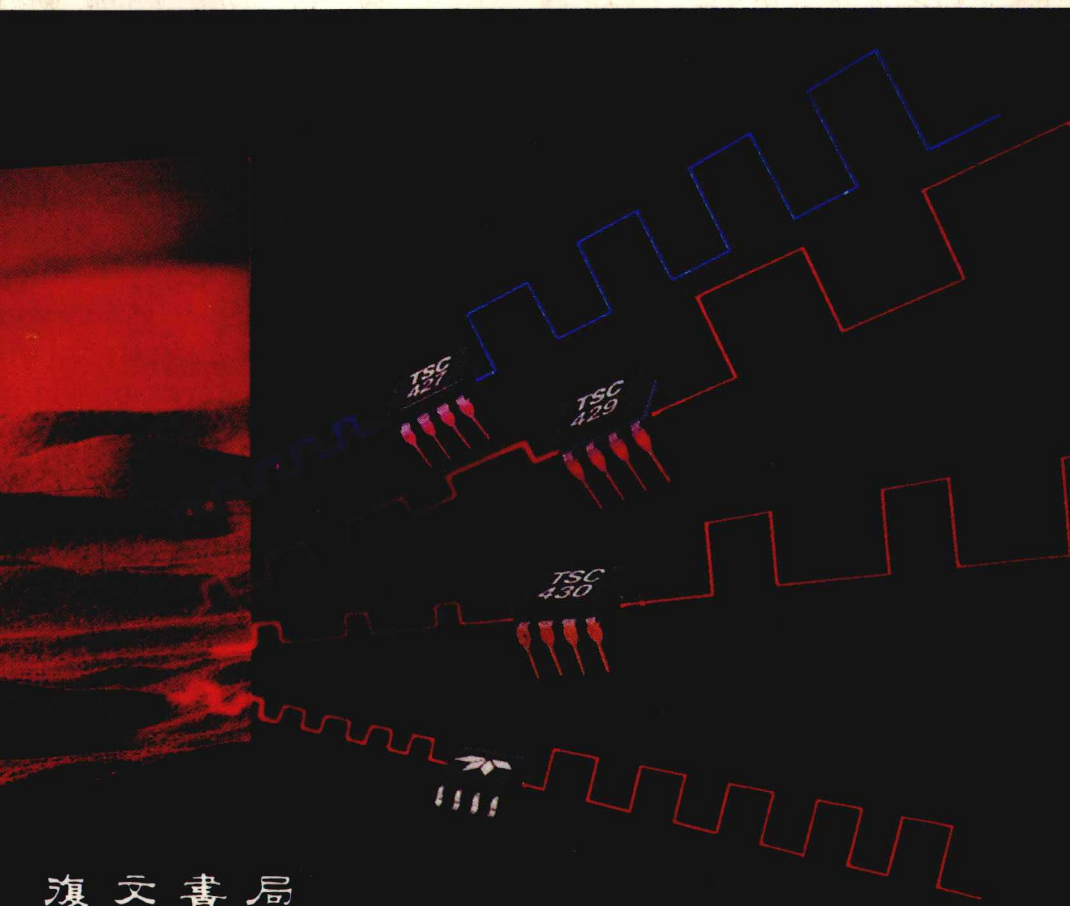


科技用書

脈波電子學原理 與應用

洪仁正 編譯



復文書局

脈波電子學原理與應用

(1989) 民國七十八年元月初版發行

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻版必究

編譯者： 洪 仁 正

發行者： 吳 主 和

發行所： 復 文 書 局

地址：台南市林森路二段 63 號

電話：(06) 2370003 · 2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6號

NO. 63 SECTION 2 LIN-SEN ROAD.

TAINAN. TAIWAN. R.O.C.

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

特 價 260 元

序

今日已大行其道的數位系統之發展與應用是大家所密切關注的，而研習數位系統之原理後所應實際進行的便是對於數位電路的分析以及故障的排除。然而，數位系統正愈來愈複雜，這是因已被設計成更多操作功能，更多應用模式，以及包含了許多不同的電路技術且於其間有介面的需求。因此，一個上道的技術工程人員必須要了解更多有關數位 ICs 輸入/輸出關係之外的東西，亦即是要了解端點的電氣特性，以及它們的輸入與輸出電路。但是，我們縱覽很多課本與課程只提供粗淺的IC端點特性之處理說明，而很少注意到它們的設計與測試以及故障排除之重要性，而本書正是為解決上述緣由而出版。

本書的特點包括：強調可應用於各種數位電路的分析技術、有很多及各種實際應用例子都被用來增加瞭解並表明分析技術如何使用、提出很多可顯示故障電路癥兆的故障排除練習、所需要的基本數學觀念只到高工程度即可。

相信本書之出版對於電子、電機、控制等科系的學生，職訓所的電氣技術學員，以及有志鑽研數位電路檢修與測定原理的社會人士定有助益，最後誠摯地感謝撰寫期間同事與好友的支持，並祈各方先進賢達不吝指正賜教。

- 本書參考：
- ① Pulse. Digital & Switching Waveforms
by Millman & Taub
 - ② Fundamentals Of Pulse & Digital Circuits
by Tocci
 - ③ Digital System (Principles & Applications) by Tocci.....等編譯。

目 錄

1	基本觀念	1
1.1	介 紹	1
1.2	交換電路	1
1.3	理想的脈波訊號	3
1.4	理想的開關裝置	6
1.5	電流方向	10
1.6	電壓記號	10
1.7	dc 電壓源的表示法	12
1.8	時變電流與電壓	13
2	脈波波形分析	17
2.1	介 紹	17
2.2	脈波失真的種類	17
2.3	t_r , t_f , 及 t_p	18
2.4	傾斜	20
2.5	過頭的現象	21
2.6	週期脈波	21
2.7	平均值 (dc)	24
2.8	週期波的諧波成分	26
2.9	諧波成分與波形的關係	30
2.10	線性網路對脈波的影響	33
2.11	示波器對脈波測量的影響	40
2.12	非週期脈波	42

3	輸入脈波的RC電路	47
3.1	介紹	47
3.2	電容器的基本特性	48
3.3	電容器充電	48
3.4	電容器放電	49
3.5	指數形態	50
3.6	指數形態的進一步應用	55
3.7	RC 低通電路	59
3.8	RC 高通電路	59
3.9	輸入脈波的低通電路	60
3.10	輸入脈波的高通電路	67
3.11	自然的與力制的響應	73
3.12	RC 電路對週期性輸入的響應	75
3.13	負載效應	83
3.14	電感性效應	89
4	開關裝置	103
4.1	介紹	103
4.2	二極體當作開關	103
4.3	分析二極體電路	106
4.4	二極體的轉換特性	109
4.5	雙極接合電晶體 (BJT) 作為開關	114
4.6	電晶體開關的近似分析	116
4.7	電晶體的開關時間	121
4.8	場效電晶體 (FET) 開關	125
4.9	開關電路的近似分析	129

5	運算放大器	141
5.1	介紹	141
5.2	運算放大器是什麼？	142
5.3	基本的 Op-amp 特性	142
5.4	Op-Amp 等效電路	148
5.5	Op-Amp 電路：比較器	150
5.6	電壓追隨器	152
5.7	同相放大器	155
5.8	反相放大器	158
5.9	開迴路增益： A_{VOL} 的變動	162
5.10	Op-amp 的頻率響應	162
5.11	迴轉率	165
5.12	偏移誤差	166
5.13	正回授	169
6	訊號整形電路	175
6.1	介紹	175
6.2	二極體剪波器（限制器）	175
6.3	運算放大器剪波電路	185
6.4	雙極電晶體反相器（或相反器）	187
6.5	緩衝電路	196
6.6	差動比較器	200
6.7	史密特觸發器	206
7	邏輯閘與布林代數	221
7.1	介紹	221
7.2	二極體 OR 閘	222
7.3	二極體 AND 閘	225

7.4	NOT, NOR 與 NAND 閘	228
7.5	布林代數	230
7.6	OR 運算	231
7.7	AND 運算	235
7.8	NOT 運算	237
7.9	用代數敘述邏輯電路	239
7.10	求出邏輯電路的輸出值	240
7.11	從布林式中作出電路	242
7.12	NOR 閘與 NAND 閘	243
7.13	布林代數的功能	246
7.14	布林定理	246
7.15	簡化邏輯電路	254
7.16	EXCLUSIVE-OR 與 EXCLUSIVE-NOR 電路	258
7.17	NAND 閘與 NOR 閘的全能性	262
7.18	等效的邏輯表示法	264
8	正反器	275
8.1	介紹	275
8.2	NOR 閘 FF	276
8.3	NAND 閘 FF	280
8.4	時鐘訊號	283
8.5	Clocked SET-CLEAR 正反器	284
8.6	Clocked JK 正反器	286
8.7	Clocked D 正反器	288
8.8	同步與非同步的正反器輸入	290
8.9	FF 的工作特性	292
8.10	主/奴型 FFs	294

8.11	正反器的工作—並行轉移	297
8.12	正反器的工作—移位暫存器	299
8.13	正反器的工作—計數	302
8.14	單發電路	305
8.15	單發電路的動作	307
8.16	分析正反器電路	310
9	積體電路邏輯族的特性	321
9.1	介紹	321
9.2	數位 IC 術語	322
9.2	數位 IC 術語	323
9.3	TTL 邏輯族	327
9.4	標準 TTL 系列的特性	330
9.5	其它 TTL 系列	332
9.6	TTL 負載的規則	335
9.7	其它的 TTL 特性	341
9.8	TTL 集極開路的輸出	346
9.9	三態 TTL	350
9.10	ECL 數位 IC 族	353
9.11	MOS 數位積體電路	356
9.12	數位 MOSFET 電路	357
9.13	MOS 邏輯的特性	360
9.14	互補的 MOS 邏輯 (CMOS)	361
9.15	CMOS 族特性	364
9.16	三態 CMOS	368
9.17	CMOS 雙向開關	368
10	IC 介面	379
10.1	介紹	379

10.2	TTL 驅動 CMOS	380
10.3	TTL 驅動 NMOS 與 PMOS	383
10.4	CMOS 驅動 TTL	383
10.5	數位 ICs 對非標準裝置的介面	386
10.6	驅動發光二極體 (LED)	386
10.7	驅動高電流與高電壓負載	389
10.8	輸入介面	396
11	脈波產生電路	407
11.1	介紹	407
11.2	單接合面電晶體的動作	407
11.3	UJT 振盪器電路	411
11.4	UJT 振盪器——突波波形	419
11.5	可程式的 UJT (PUT)	420
11.6	史密特觸發振盪器	424
11.7	555 IC 計時器	428
11.8	555 作為單發電路	430
11.9	555 振盪器	435
11.10	由相反器作成的振盪器	438
11.11	掃描——電壓的波形	440
11.12	電晶體掃描波產生器	442
11.13	自走式掃描波產生器	449
11.14	示波器的觸發掃描電路	452
附 錄	471
A :	二進制數系	471
B :	數位 IC 資料單	477
C :	ϵ^x 與 ϵ^{-x} 的值	497

1

基本觀念

1.1 介紹

這本書是有關被分為脈波、數位、或交換電路的電子電路書籍。這三個共通的術語提到有一個基本特性的電路：它們的輸入及 / 或輸出從一種準位（值）快速地轉換到其他的準位。

1.2 交換電路

圖 1.1 實示三種不同的交換電路。在(a)輸入訊號在 0 V 及 + 10 V 之間轉換，同時輸出有慢速變化（斜坡）的部分跟著從 + 10 V 突然跳到 0 V 的部分。在(b)的電路有一個平滑變化的正弦波輸入，但它的輸出很快的轉換準位。在(c)，輸入及輸出訊號都是在一準位到另一準位間快速轉換。

所有這類電路都是交換（switching）電路，因不管它們的輸入

2 脈波電子學原理與應用

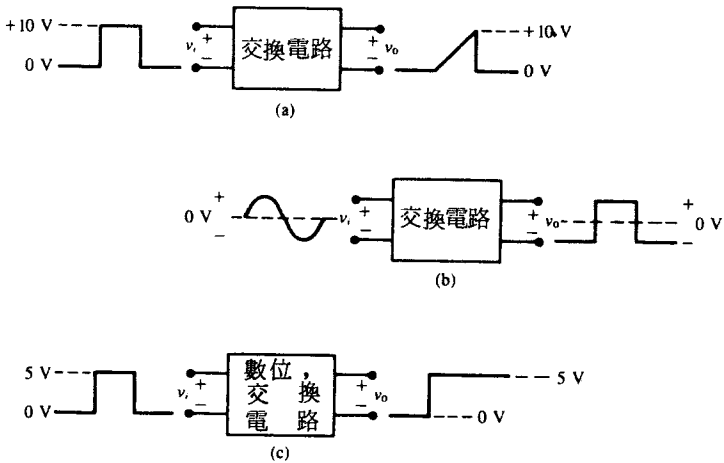


圖 1.1 交換電路的例子

、輸出，或兩者在某些時間都出現快速的轉換。在(c)的電路是一特別的型態，在此輸入及輸出訊號在兩個相異的準位或狀態間交換。它被稱作**數位電路** (digital circuit)，其所有輸入及輸出名義上可說都會在兩個異值中的一個，例如，0 V 及 +5 V，如圖 1-1 (c)。

線性電路 輸入及輸出訊號平滑而連續改變的電路歸類為線性 (linear) 或是**類比** (analog)，電路。以正弦波輸入及正弦波輸出的放大器為例。雖然線性電路在電子工業中扮演很重要的角色，但愈來愈多的電子功能都被數位及交換電路所取代。

數位積體電路 數位及交換電路的支配權已交在快速發展的積體電路製造技術手中。數位電路，由於它們相對的簡便性，可靠性，與低消耗功率，理想上很適合積體製造。我們已可見數位積體電路 (IC。) 從每個晶片數個電晶體進步到每個晶片數千個。在現代電子系統中數位交換電路是用得最多的裝置。

雖然 IC 帶來巨大的衝擊，離散的交換電路仍很重要，特別是在如訊號產生，訊號調整，及介面的應用中。再者，為了分析之目的 IC 的輸入及輸出電路總是以離散電路來看。因此，IC 及離散元件都應包含在任何有意義的交換電路研讀中。我們在往後數章中都要花可觀的時間在兩者之上。

1.3 理想的脈波訊號

在交換電路中出現許多不同的訊號，且它們有許多都會在我們的研讀過程中遇到。從現在開始，然而，我們將介紹兩種最普遍的交換訊號：步級（step）波，及脈波（pulse）。

理想的步級波 圖 1.2 (a) 顯示一個在某些時間內電壓為 V_1 ，然後跳到 V_2 單位的理想的（ideal）步級波電壓波形。理想的步級波在從 V_1 到 V_2 的轉換是瞬時的，不須花時間。它是正向步級波因它從一單位跳到一更正的單位。注意 V_1 及 V_2 可為任何值及任一極性，只要 V_2 較 V_1 為正。

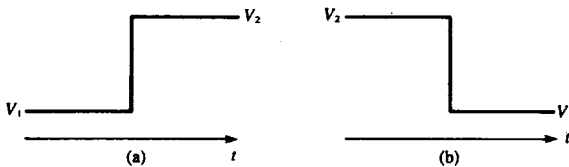


圖 1.2 理想的步級波

為比較，圖 1.2 (b) 是個理想的負向步級波它造成從 V_2 到 V_1 的瞬時轉換。再一次地， V_2 較 V_1 為正。

例題 1.1 畫出下列各步級波形。

(a) 從 -2V 到 $+6\text{V}$ 的正向步級波。

4 脈波電子學原理與應用

(b) 從 -6 V 到 -2 V 的正向步級波。

(c) 從 $+5\text{ V}$ 到 0 V 的負向步級波。

(d) 從 $+4\text{ V}$ 到 -1 V 的負向步級波。

解： 結果繪在圖 1.3。注意在兩準位的極性與步級波之方向間沒有相互關係。

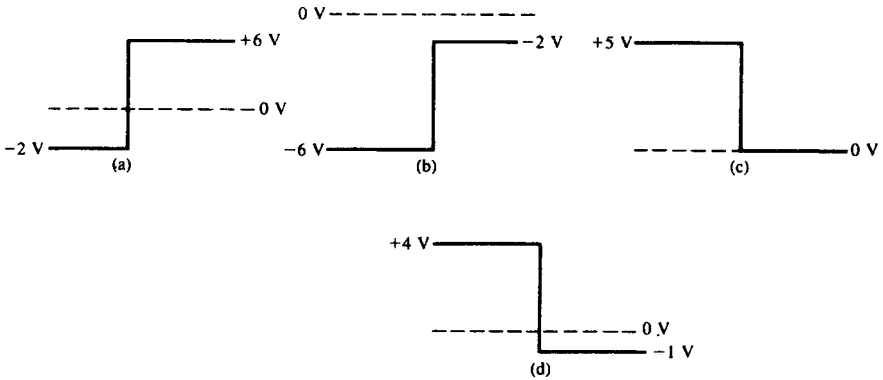


圖 1.3

理想的脈波 圖 1.4 (a) 顯示一理想的電壓脈波其由兩個步級波組成：第一個在 t_1 時從 V_1 到 V_2 ，及第二個在 t_2 時從 V_2 到 V_1 。 V_1 到 V_2 的轉換稱為脈波的升緣 (rising edge)；它也叫做正向轉換。相同的， V_2 到 V_1 的轉換稱為降緣 (falling edge)，或脈波的負向轉換。

此脈波是理想的因它的轉換是瞬時的。而且，在兩個轉換間的部分是完全平坦的 (固定的 V_2 準位)。這個平坦部分叫做脈波寬度 (pulse width)，或脈波期間 (pulse duration)，且它由符號 t_p 代表。

在圖 1.4 (a) 的脈波為在 V_1 基線 (baseline) 上所測的正向脈波。也就是說，此訊號正常在 V_1 準位 (基線)，除了其在正向峯 (peak) 值， V_2 的短暫時間 (t_p) 之外。

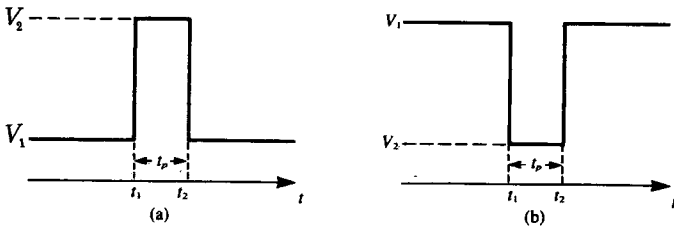


圖 1.4 理想的脈波

相同的，圖 1.4 (b) 是從 V_1 基線到峯值， V_2 的負向脈波。此脈波在 t_1 有個負向轉換而在 t_2 有個正向轉換。

V_1 及 V_2 準位可為兩極性中的任一個值，雖然最普遍的基線電壓為 0 V 。圖 1.5 顯示了幾種不同的例子。

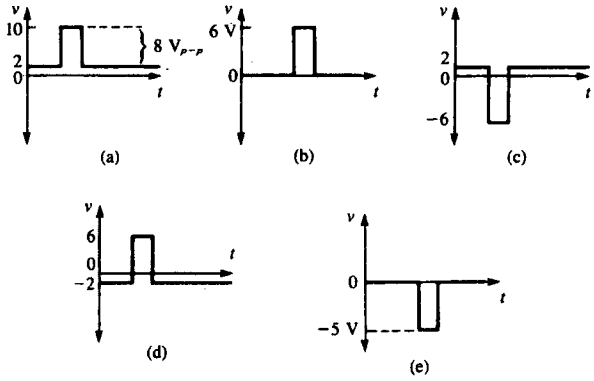


圖 1.5

脈波振幅 脈波訊號的振幅最好定為從基線到峯值的峯 - 對 - 峯 ($p-p$) (peak-to-peak) 變化。例如，圖 1.5 (a) 的訊號有 $+2\text{ V}$ 的基線與 $+10\text{ V}$ 的峯值。從基線到峯值的總變化因此是 8 V 。因此，此脈波的振幅表為 8 V_{P-P} 。

例題 1.2 圖 1.5 的脈波那個是基線在 -2 V 的 8 V_{P-P} 正向脈波？

解： 在圖 1.5 (d) 的脈波。

例題 1.3 在 $0V$ 基線上畫出一個 $5V_{P-P}$ 負向的脈波。

解： 結果應看起來和圖 1.5 (e) 相似。

不理想的脈波 在實際上不可能產生瞬時升及降緣，與完全平坦脈波期間的步級波與脈波。下章將研討某些在實際脈波中發生的失真種類。然而，在大部分我們以後所分析的電路中我們將使用理想的脈波訊號以簡化電路動作的瞭解。在我們完整的研討電路後，我們將再觀察實際脈波輸入的效應。

1.4 理想的開關裝置

在任何交換電路中最重要元件為**開關裝置** (switching device)。此裝置可在兩種不同的工作狀態間交換；例如，導通與不導通狀態。如我們將在第四章所見有許多半導體可像開關工作。現在我們將討論理想的開關裝置與使它理想的特性。

理想的開關在圖 1.6 已符號化。它有兩個標為 x 及 y 的端點，及一個可移動的接觸片 z 。接觸器的位置決定在 x 及 y 間的電氣特性。在圖 1-6 (a)， x 與 y 之間沒有電氣通路。此開關“打開”；在開關兩端間為開路。這位置可稱爲此開關的 OFF 狀態。

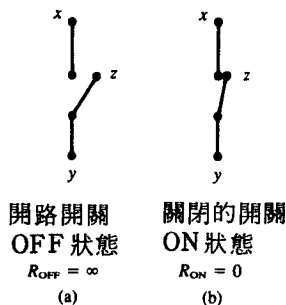


圖 1.6 理想開關的兩種狀態

在圖 1.6 (b) 接觸片已移動而使 x 與 y 之間可有直接接觸。此開關“關上”；在開關的兩端為短路。此狀態可稱爲此開關的 ON 狀態。

因此，我們可說一開關在 OFF 狀態它的兩端有無限大 (infinite) 的電阻，在 ON 狀態爲零電阻。也就是 $R_{OFF} = \infty$ 且 $R_{ON} = 0$ 。目前，沒有半導體開關裝置可實際地與此兩電阻值相配，雖然它們有某些可有極高的 R_{OFF} 值。機械開關與繼電器控制的接觸片很接近圖 1.6 (b) 的理想特性，但它們在現代開關電路中其可用性被它們較慢的開關速度，接觸跳動，及接觸的衰退所限制。

理想受控制開關 有些東西必須控制開關裝置的狀態；也就是說，使它從一狀態轉換到另一態。半導體開關裝置由輸入到控制端的電壓或電流所控制。標爲 c 的端點是控制的輸入端。如附表所示，在控制端的高電壓（或電流）使開關成爲 ON 狀態，同時低電壓（或電流）造成它爲 OFF 狀態。

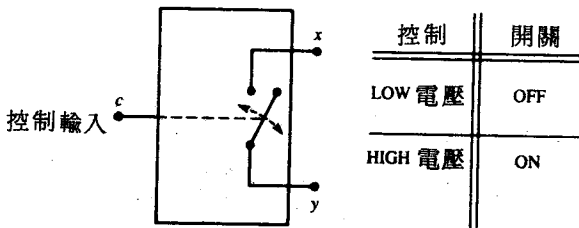


圖 1.7 理想的壓—控開關

圖 1.8 顯示一個電壓控制開關很普遍使用的電路形狀。電路輸出電壓由開關兩端取出。當控制電壓輸入， V_{IN} ，在 0 V ，開關爲 OFF 而使得開關兩端出現開路。因此，沒有電流流過電阻，且整個 $+10\text{ V}$ 電源電壓出現在開關的兩端因而 $V_{OUT} = +10\text{ V}$ 。當 $V_{IN} = +10\text{ V}$ ，開關爲 ON 且在開關的兩端是短路。因此，電流將從 $+10\text{ V}$ 電源流經 R 及被短路的開關而到地；且 V_{OUT} 將爲 0 V 。

8 脈波電子學原理與應用

圖 1.8 的附表總結兩個輸入電壓情況的電壓及電流。下列幾點應注意：

- (a) 當輸入電壓在低單位 (0 V) 輸出電壓在高單位 (+ 10 V) ；反之亦然。因此，此電路稱為**電壓準位相反器**(voltage level inverter) ，或簡稱**相反器**(inverter) 。相反器是各種開關及數位電路的基本，且在以後的研讀中將常遇到它。

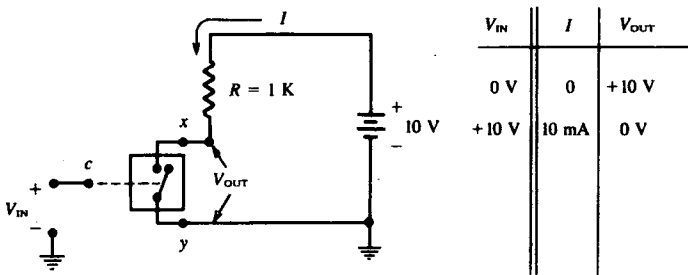


圖 1.8 用作電壓相反器的理想控制開關

- (b) 當開關為 OFF 時流經開關的電流為零，但跨於開關兩端的電壓，(V_{OUT}) 為高電位 (+ 10 V) 。在另一方面，當開關為 ON 時電流是高電流 (10mA) ，但跨於開關兩端的電壓是低電位 (0 V) 。這是一個常使學生搞混的地方。只要記住無論何時開關裝置用於相反器電路中時，電流將為高電流當輸出電壓是低電位，而當輸出高電位時電流為低電流。

例題 1.4 當輸入為 0V 基線 10V P-P 正向脈波時，則相反器電路的輸出電壓看起來如何？

解： 圖 1.9 顯示出結果。相反器的輸出將為輸入的相反 (inverse) ，因此它將為一個 +10V 基線 10V P-P 負向脈波。注意輸出脈波準位及變換方向總是與輸入脈波相反。