

數位系統
原理

組合邏輯

編著者 ■ 陳秋發 · 周慶榮



新學識文教出版中心
工專用書編輯委員會

編行

組 合 邏 輯

執筆者 ■ 陳秋發 · 周慶榮

編輯者 ■ 新學城出版中心
工專用書編輯委員會

版權所有



翻印必究

行政院新聞局出版事業登記證

局版登業字第0980號

數位系統原理

組合邏輯

■執筆者：陳秋發 · 慶榮

■發行人：李 咁

■兼主編：新學識文教出版中心

■出版者：新學識文教出版中心

台北市新中街10巷7號

郵撥帳號：109262

電話：7656502 7656992

■特約：台北·力行書局（重慶南路I）

■經銷處：台中·大學書社（文華路73號）

台南·東華書局（博愛路72號）

高雄·超大書城（地下街一層）

■校勘者：陳 秋 發

■印刷所：新學識文教出版中心

中華民國66年9月出版
68年7月修訂再版

基 價 4元5角

●科技為現代學術中心。

●工業為國家圖存利器。

●工科大專為科技與工業的接點；

●教學同仁于此接點散發無限光、熱！

●教材則為發射光、熱的「能源」。

願 工科大專教學同仁，

更多、更廣泛的參與我們
合作編著、出版的行列：

「協力開發『能源』」，

「光探學術『風景』」

「照亮國家前途！」

新學識文教出版中心 謹啓
工專用書編輯委員會

關於新學識文教出版中心

■組合性質 由大專校、教、所長，
科系主任及專家學者
百餘人所聯組，具有
作者·讀者·出版者
綜合特質的文教單位。

■共同理想 開發心智能源，
創造出版成果，
分享讀者、作者。

■一致行動 全面推行科學中化，
促進國家學術獨立，
提高國民精神所得。

BWT392/01

新學識文教出版中心

新書簡報

1979

各科(第)	3-1	國 學 (一)	林裕發	5.5
	3-2	國 學 (二)	林裕發	5
	3-3	國 學 (三)	林裕發	4.5
	3-4	國 學 (四)	林裕發	4
	5-1	化 學 (上下)	鄭仁能等	5
	5-2	有機化學 (上下)	鄭仁能等	5.5
	6	化學實驗	謝德貴等	3.5
	23	微積分	戴印生	5
	11	工程數學	謝德貴	4.5
	11-1	工程數學教學指引	鄭德貴	2
機 械	22	公式圖解法	林伯信	3.5
	41	專科物理：力學	方錫經等	4
	42	專科物理：電磁學	方錫經等	4
	43	專科物理：物理實驗	方錫經等	4.5
	58	生產實習 (生產實習)	彭敏求	4
	59	工業安全	林松林	3.5
	60	工業管理	彭敏求	4
	1-1	機械材料 (上)	王仰舒	3
	1-2	機械材料 (下)	王仰舒	4.5
	1-3	材料試驗	王仰舒	2
(電機)	2	熱機學 (修訂版)	李紹北	5
	2-1	熱機學簡解	李紹北	1.5
	18	熱機圖表	方春蘭	3.5
	29	機械加工法 (上)	林仁輝	4.5
	29-1	機械加工法 (下)	-	4.5
	30-1	機械製圖 (一)	黃國璋	4
	30	機械製圖 (二)	黃國璋	4
	30-3-4	機械製圖 (三) (四)	黃國璋	4
	56	① 原動力學	容慶光	4
	56-1	② 靜力學	方春蘭	4
機 械 (續)	83	③ 工業設計與實習	許志傑	4
	89	電機學	劉志敦	4
	25	應用力學	王錫麟	4
	26	材料力學	楊 慶	4.5
	27	運動學 (上)	王仰舒等	4
	27-1	運動學 (下)	王仰舒等	4
	101	④ 紡織機械製圖	李勳忠	4
(化工)	8	電工實習 (基本)	呂炳興等	2.5
	17-1	〃 (家用電器)	張得意	2.5
	17-2	〃 (船舶作業)	張得意	4
電 機	7-1	電工原理 (上) (修訂)	張德重等	3
	7-2	電工原理 (下)	張德重等	3
	32	電機機械：直流電機	呂文林等	4
	10	電子計算機概論	李 嗣	5
	40	電工材料	楊永枝	4
	12-1	輸配電學 (上)	鄭瑞康	4.5
	12-2	輸配電學 (下)	鄭瑞康	4
	14	⑤ 電路學	郭國文	4
	88	⑥ 磁能發電	周凱濱等	4
	84-1	配網設計 (上)	高人欽	4.5
	84-2	配網設計 (下)	高人欽	4

電 子	102-1	⑦ 電工實習 (續) (上)	張德重等	4
	102-2	電工實習 (續) (下)	張德重等	4
	10	計算機導論	鄭 明	5
	15-1	⑧ 組合邏輯	陳秋登	4
	15-2	序向邏輯	陳秋登	4
	19	⑨ 微視工程	謝德貴等	4
	34	⑩ 通訊系統	電子編委會	4
	35	電力工程	郭國文	3
	36	電波工程	黃鳳年	2.5
	61	數位系統設計	宋志雲等	4
(土 材)	62	⑪ 計算機結構	郭 輝	4
	63	微算機：系統程式 (上)	謝德和	4
	65	微算機：系統程式 (下)	謝德和	4
	103	⑫ 電子計算機程式	林麗儀	3
	104	⑬ 數位系統的檢核	電子編委會	3
	105	⑭ 電子電路 (I-4)	〃	4
	9-1	⑮ 電子材料	〃	4
化 工	9-1	定性分析	楊鳳山	4
	9-2	定量分析	楊鳳山	4.5
	48-1	⑯ 工業化學 (全) (修正版)	甘樹德等	5.5
	48-2	⑰ 化工製程實習	甘樹德等	4
	49	化工設計概論	謝德和	4.5
	50-1	單元操作 I	謝德和等	4.5
		流體輸送	謝德和等	3
		熱傳導	謝德和等	3
		質量輸送	謝德和等	3
		固體操作	謝德和等	3
(土 材) 紡織		⑱ 單元操作實習	張玉河	4
		環境衛生	楊鳳山	5
		聚合物化學	謝明輝等	5
		聚合物化學實驗	楊德和	5
		纖維理化 (修訂)	謝德和	5
		單元程序	謝德和等	5
		⑲ 工程力學	楊 慶	5
		儀器分析	毛光興	5
	44	物理化學	謝德和	4.5
	45	⑳ 物理化學實驗	林弘毅	3
電 機	106	㉑ 化工材料	謝德和	4
	32-1	㉒ 電機機械：交流電機	謝德和等	4
	32-2	㉓ 電機機械：交流電機 (下)	謝德和等	4
	107	㉔ 工業控制	謝德和等	4
	108	㉕ 工業儀器	謝德和等	4
	109	㉖ 數位系統原理	電子編委會	4.5
	海軍	船舶電路	謝德和	4
		船舶電路	謝德和	4
		船舶電路	謝德和	4
		船舶電路	謝德和	4

● 本書採18開圖書規格精裝印刷，並加套全塑套，極大方耐用。
● 圖表係依新標準，採用公制精確。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。
● 圖表售價另議，另加運費。

工程技術的 微積分

為工程科系的教學需要而編寫之「微積分」課本，在通過數學方法，而應用於工程方面。

本書作者具有數學與工程之長，而為國防科學界之著名應用數學家。且于大專教授本課程多年，極具心得，并深獲同學愛戴。無怪本書在由工專教師多人協助精校時，即盛讚其講解有致、取材精當，確可培養工程實力。

↑ 中山科學院 計算機組主持人
戴即生 精編

公式圖解法

製圖並不限於工程方面，對工廠產、營、稅值之推算，實亦具有精確、快速的神效！

本書以驚人提出，圖文並茂的方式，于國內最先介紹公式圖解圖之數學原理。引導自製方法及經驗公式的推本與應用。實用例55題，均附精圖詳釋。簡單明瞭，必能獲得意想不到的體會！實為各階層工作從業員，求知上進，改進工作方式、經營技術及拓展業務、增加效率的新穎而實用之基本工具書。

林伯信 著

新學識文教出版中心

鄭國瑞博士·趙漢卿博士

工程數學

工程數學為電機、電子、機械化工、土木工程 科目之數學重要基礎，有此方可談設計、發展、深造。

本書由具有機械與電機等工程專業基礎之機械數學博士（現分別為清大數研所所長及教授）親自編稿，精校并參酌數科教師意見精訂者，實國內最新、最切實用之權威著作。

• 資訊工程與數學的結合。

黃胤年博士 突破性力作

電波工程

本書是依工專課程標準編撰的，有必要的理論、更有極具實用價值的最新技術資料。

作者為美國電波研究博士，現任交通部電信研究所研究策劃室主任及國立大學研究教授；平日研究認真、成果豐碩，近年發表論文平均年達四篇之多！

本書自撰寫、繪圖至核校皆係親自工作。作者對本書的期望是：使讀者通過簡易的閱讀，了解電磁波、傳輸線、導波器、天線及有關電波在傳播上的特性、種類和應用。

讀者讀此，當可知作者的上列期望並不虛幻，而是現實的。



數位系統原理

(組合邏輯)

(序向邏輯)

出
版

新書簡介

計 算 機 導 論

(電子計算機概論)

「數位電子」為今日工業的前鋒，「電子計算機」則為其綜合成就的象徵與元勳。

本書為計算機有關知能的基本引介，其編撰特色有三：

①全書分「本編」、「輔編」及「附錄」三部分，分別編列「基礎知能」、「引伸說明」及「補充資料」；極便彈性教學。

②譯名以通用、切實為原則，并附中英名詞對照索引，便于比較、查義。

③舉例比較詳介BASIC與FORTRAN程式極便理解、實用。

1 計算機結構

2 週邊機件

3 電子計算機程式

系統程式

本書為國內微計算機系統程式的首一完整著作。其不僅為此行業的優先出版物；另由我最高教育當局對其審查後的以下評語，也可視其為

難得的優良科技讀物：

- 符合標準
- 內容正確
- 深淺有序、標題明確
- 圖畫適當，且有適當之圖表
- 文字通暢

由此可見，對了解與應用微計算機有興趣的人，必會從本書中獲得滿意的收穫。

上・下

數位系統設計

數位電子系統在電子以至整個工業界的比重，都正與日俱增中。

現今工專、大學的電子科系，雖漸多列入此種課程，但並無切合實用的課本。

本書合大專及國家研究單位之實作經驗，依新頒課程標準而編撰。既非空泛說理之作，亦非某一產品的廣告，而強調數學模式與實際線路之配合，所以它是一本實際而實用的書。

目 錄

第1章 基本觀念 [1~22]

- 1-0 數位系統簡介 (1)
- 1-1 準確性與分析性 (2)
- 1-2 連續系統與數位系統 (3)
- 1-3 資訊和數量 (8)
 - 1-3-1 資訊表示法 (8)
 - 1-3-2 數量表示法 (10)
- 1-4 二進制系統 (12)
 - 1-4-1 二進制與其他數系之轉換 (13)
 - 1-4-2 二進制之算術運算 (17)

第2章 布林代數 [23~70]

- 2-0 二值變數之性質 (23)
- 2-1 「及」接合 (24)
- 2-2 「或」接合 (27)
- 2-3 「反」運算 (34)
- 2-4 基本交換代數之觀念 (35)
- 2-5 布林代數 (40)
 - 2-5-1 基本性質 (40)
 - 2-5-2 基本定理 (43)
 - 2-5-3 狄摩根定理及其應用 (48)
- 2-6 布林代數與集合論 (51)
- 2-7 交換函數之簡化 (55)
- 2-8 「反及」和「反或」接合 (57)
- 2-9 組合設計的標準型式(一) (61)
- 2-10 組合設計的標準型式(二) (64)

第3章 電路實現 I ——繼電器 [71~96]

- 3-0 交換裝置及電路 (71)

- 3-1 繼電器與繼電器閘 (72)
- 3-2 繼電器閘之應用實例 (77)
- 3-3 繼電器電路之最佳化 (82)
- 3-4 繼電器電路的函數化 (89)

第4章 電路實現Ⅱ——磁蕊閘 [97~128]

- 4-0 磁蕊之特性 (97)
- 4-1 磁蕊閘之動作原理 (100)
- 4-2 鏡記法 (102)
- 4-3 磁蕊電路 (105)
- 4-4 磁蕊電路之應用實例 (108)
- 4-5 磁蕊電路之最佳化 (112)
- 4-6 臨限邏輯 (116)
 - 4-6-1 臨限函數之判別 (118)
 - 4-6-2 權數與臨限值 (122)
 - 4-6-3 邏輯閘、磁蕊閘與臨限元件 (124)

第5章 電路實現Ⅲ——電子電路 [129~180]

- 5-0 電子電路之特性 (129)
- 5-1 電壓真值表 (134)
- 5-2 電壓符號與反相 (137)
- 5-3 「反及」閘與「反或」閘電路 (141)
- 5-4 一些特殊的閘電路 (143)
- 5-5 二極體——電阻邏輯 (146)
- 5-6 二極體——電晶體邏輯 (148)
- 5-8 電晶體邏輯 (152)
 - 5-8-1 直接耦合電晶體邏輯 (152)
 - 5-8-2 電晶體——電晶體邏輯 (153)
- 5-9 積體電路簡介 (155)
- 5-10 中型積體電路的組合設計 (156)

- 5-11 各類型積體電路簡介 (164)
 - 5-11-1 TTL (164)
 - 5-11-2 ECL (167)
 - 5-11-3 MOS (168)
 - 5-11-4 IIL (172)
 - 5-11-5 各型積體電路之比較 (173)
- 5-12 扇入、扇出與集極電路 (173)

第6章 交換函數之化簡 [181~232]

- 6-0 緒論 (181)
- 6-1 坎諾圖化簡法 (185)
 - 6-1-1 二個變數的坎諾圖 (187)
 - 6-1-2 三個變數的坎諾圖 (188)
 - 6-1-3 四個變數的交換函數 (193)
 - 6-1-4 坎諾圖法之擴張 (197)
 - 6-1-5 和項積式的化簡 (201)
- 6-2 涉及隨意條件之坎諾圖化簡法 (205)
- 6-3 列表簡化法 (211)
 - 6-3-1 素項之求法 (212)
 - 6-3-2 最簡式之求得 (222)
- 6-4 利用計算機之化簡 (228)

第7章 組合網路之設計 [233~270]

- 7-0 設計步驟 (233)
- 7-1 半加器與全加器之設計 (235)
- 7-2 線接「或」和線接「及」之用法 (240)
- 7-3 多端輸出網路 (247)
- 7-4 渡橋的設計法 (251)
- 7-5 組合網路之速度限制 (265)

第8章 設計之可靠性與障礙檢出 [271 ~ 291]

- 8-0 緒論 (271)
- 8-1 雜波 (271)
 - 8-1-1 靜態雜波 (272)
 - 8-1-2 剷除雜波的交換電路設計 (274)
- 8-2 組合電路中之障礙檢出 (276)
 - 8-2-1 障礙發生之原因 (276)
 - 8-2-2 障礙表 (278)
- 8-3 可靠性 (281)
 - 8-3-1 危險和非危險錯誤 (281)
 - 8-3-2 可恢復性結構 (284)

1

基本觀念

1-0 數位系統簡介

我們所生活的是一個時間、溫度、距離、重量等物理量（ physical quantities ）連續變化的世界。在人們之談話中，或資料處理上，或作記錄以及其他大部分的活動中，這些物理量並不能精確的應用其數值，但是我們却須要量度這些物理量，並利用一些數值來表示準確的數值。例如室內溫度介乎 28℃ 和 29℃ 時，可以量度並記錄為 28℃，而當一個女人說她只有三十五歲時，她的實際年齡可能更要大些。

合併精確性（ accuracy ）與分析性（ resolution ）之觀念，與決定數值之時間等之量度過程通常稱之為變數數位化（ digitizing the variable ）。因此在特定的時間以其數位形式來表示物理變數大小之數值取代了原先的變數。一旦變數轉換成數位之形式，就能將之儲存或處理而不再失去其精確性與分析性。

2 組合邏輯

談到這裡，我們先定義什麼叫數位系統（digital system）？所謂數位系統就是用數位形式來處理資訊（Information），而不是用連續變數本身處理資訊的系統。換言之，一個系統所傳輸或處理的資訊概由離散式（discrete）的物理量或信號所表示的，稱之為數位系統。廣而言之，執行連續變數與其數位化表示法間之轉換（或相反程序）的系統亦稱為數位系統。如果一數位系統所採用的信號只限於兩個離散值，就稱之為二進制（binary）數位系統，這在實用上有相當大的價值，我們將在後面幾節裡談到。

連續和數位之間的轉換也是我們所熟悉的。譬如當你詢問司機“現在車子開得多快？”，司機看一下速率表（連續之裝置），回答說“每小時六十公里”（數位響應）。當然車速並非確實為六十公里，但為了表示速度，司機必須將之轉換成數值形式。

1-1 準確性與分析性

在前一節的例子中，司機所敘述的速率之準確性與下列兩因素有關：(1)表示車輪速率之速率表的準確性，(2)觀察者讀取表上之值的分析性。準確性是與量度之器具的品質有關的，因此為了增加準確性，通常須改良量度的技術或裝置。譬如以尺來量度一個球的直徑當然不如以測微器量度來得準確，又如某些物件之量度，更只能借重“精密儀器”才能辦得到，如測一張紙的厚度，一根頭髮的直徑等，而所謂的“精密儀器”就是說它的量度的準確性比普通儀器來得高。量度的準確性在科學與工程應用上已經大大的為人們所關切與注意。

連續和數位之轉換過程的分析性與量度過程中之連續數值間的最小分隔有關。這個通常被稱為分析單位的最小分隔會限制了轉換時的準確性。當連續值介乎兩數位值之間時，必須表示為大於或小於其真實值的近似值，如上節量度溫度的例子，其所採用之溫度計為每一最小分隔表示 1°C ，所以當其水銀柱介乎 28°C 和 29°C 時，我們可以讀取其較近似的 28°C ，而司機所讀

取之六十公里，如果速率表為一分隔表示十公里的話，那麼當時指針指著六十公里前後，五十五公里到六十五公里之間，也就是說它的誤差為五公里。一般就一整單位之誤差而言，以數位值表示連續變數之準確性小於分析單位之正負半個單位。

若將兩接連數值間之區間縮短，亦即將分隔加以細分，則可增加量度的準確性。為了增加分析性必須在轉換過程中獲取更多的數值資訊。例如量度一金屬棒長 12 吋，則意指此棒之長度介於 11.5 吋與 12.5 吋之間。更精確的量度為 12.00 吋則表示長度介於 11.995 吋與 12.005 吋之間。

準確性受分析單位之限制，而無法改善之情況，正如分析性受轉換過程之基本準確性之限制而不能改良之情形類似。我們可以用計算尺（slide rule）（連續裝置）做乘法運算而得到五位或六位以上之答案，然而計算尺之準確性一般僅限制為三位數，所以上面所談到的過度的分析性並不實用。

在從連續轉換至數位的過程中，準確性與分析性須同時兼顧。增加其中之一通常均會增加轉換系統的成本和複雜性；增加分析性則將增加由轉換過程所得之構成數位值之數值資訊，如上例中之由 12 增為 12.00，同時也增加了數位系統必須執行之資訊處理工作與資料之儲存。因此在實際應用上通常僅採取所需要的分析性與準確性。

1-2 連續系統與數位系統

並非所有的系統天生均為數位系統，很多的計算與控制系統即以連續形式處理資訊，如水銀溫度計、計算尺與類比計算機（analog computer）等均為以連續模式操作之裝置。連續系統（continuous system）與數位系統間之差別就以水銀溫度計和數位溫度量度系統來加以闡述。

溫度計係連續裝置，溫度計中之水銀柱將對應於下端球泡之溫度而升高至某一高度，溫度之任一變動都會使水銀柱之高度產生對應之變化。另一方面，數位系統將溫度轉換成數位值，並用符號表示其值，通常表示出最接近

的程度。除非溫度之變動量大到足以使數位值移到次高或次低之刻度，否則溫度之變化並不加以顯示，而其顯示之值亦保持相同。如圖 1-1 (a)所示，水銀柱介於 28°C 與 29°C ，我們讀取較接近之 28°C ，若溫度稍微上昇如(b)所示，但仍較接近 28°C ，我們仍說溫度為 28°C ，若再上昇如(c)所示，則我們說溫度昇高為 29°C 了。

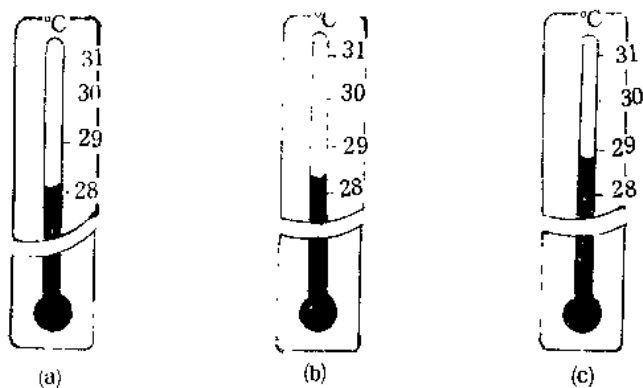


圖 1-1 溫度計與數位溫度系統

一個停止的時鐘，一天僅正確兩次；數位系統通常很少指示精確值，但是在某分析單位內，却總是正確的。

數位系統廣泛的被人們所採用，原因很多，第一，如把分析單位變小，則數位系統比連續系統準確，並且，數位系統能在無衰減之情況下儲存與傳輸數位資料。

現在我們考慮量度一電壓與記錄此測量值和試圖在電容器中儲存這電壓準位間的差別。當然環境與時間之變化對數位記錄電壓之效應比儲存於電容器內之電壓準位為小。另外，數位記錄電壓能將數位資料編碼成另一形式，導致有效率並且能避免誤差的資料處理。並且以數位形式運用在電子裝置，即使採用低成本且低容忍度之元件，也能夠導致可靠且無麻煩的操作。由於這些原因，使得數位系統被廣泛的採用並且取代了以前所使用的連續系統。

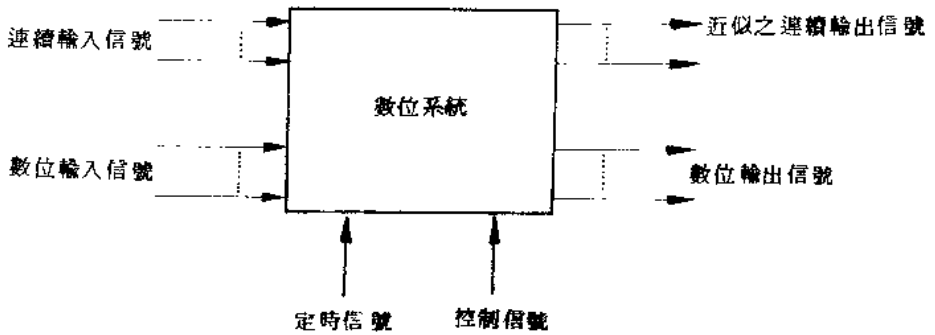


圖 1-2 一般之數位系統

圖 1-2 顯示一般之數位系統。這一系統的輸入可以是連續和數位兩種形式。在電子數位系統中，必須用適當的轉送器（transducer）將連續輸入轉換成電壓或電流的適當形式。熱電偶，張力計與光電管就是基於此目的而使用的典型裝置。由這類轉換器所得到的連續輸出信號為原先連續變數之電壓電流的類比化，可稱為電類比，再用所謂的類比至數位轉換器（analog-to-digital converters ADCs）之副系統，將此等電類比信號轉換為數位形式。

若是直接以數位輸入信號則不需此種轉換，例如由鍵盤打入，或由打孔卡片所讀取之資料。同時也有某些轉送器直接將其輸入信號轉換成數位形式者，例如渦輪流量計在每一轉動均產生一電脈波，這些脈波能累積於計數器（counter）中，以得到全部流量或流動速率之資料。然而在數位系統之內部中，所有信號均為數位形式。

數位系統處理直接數位輸入信號或由類比至數位轉換器所產生的數位信號而得到所需要的輸出資料。如果需要的話還可以透過數位至類比轉換器（digital-to-analog converters DACs）將數位輸出之資訊轉換成近似的連續形式信號而輸出。

現在我們來看一個實際的例子。一個大的灌溉防洪控制系統，要將一水

6 組合邏輯

庫的水位高低，傳送到遠處的控制中心，隨時加以監視。在水庫中裝設一水位探測裝置，如圖 1-3 所示，在滑輪之一邊掛一浮筒，另一端繫一平衡物，保持平衡。如果水位有所變化，浮筒也會隨著上下，帶動滑輪轉動，滑輪之動作利用適當的齒輪組合傳送到輸出軸，經適當之安排設計，可以由輸出軸之位置來探測水位。

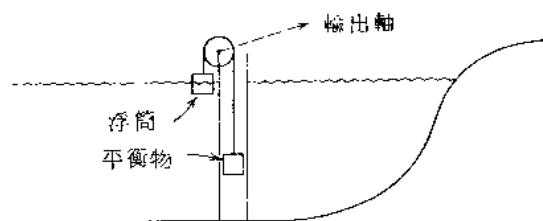


圖 1-3 水位探測器

利用輸出軸來控制電位計 (potentiometer) 之指針，再輸出電壓利用線路傳到控制中心的電表，把電位適當的加以刻度，即可以直接表示水位。如圖 1-4 所示，這種系統因為電壓可在 0 至 V 伏特間連續變化，所以是連續系統。這系統的缺點是接收端的電壓會隨著輸送線的狀況及電位計之位置而改變，如輸送線的長短，電阻的大小及溫度的影響等，因此電表上表示水位之刻度就不準確了。

爲了改進連續系統之缺點，可以改用圖 1-5 之裝置，在此假設水位之可能變化爲 10 呎，並且假設準確度在 1 呎以上即可，那麼用輸出軸來控制具有 10 級的旋轉鍵，此旋轉鍵將不同之電壓加到輸送線，使遠處相對應之指示燈亮或熄，由指示燈之號碼即可知水位之高低。很顯然的，這種系統比連續系統可靠，儘管輸送線的狀況仍會影響接收端所收到的正確電壓，但因為接收端只需要區別沒有電壓和足夠使指示燈亮的電壓這兩種情況，所以問題