

電子覺察控制

譯者 王金土

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

電子覺察控制

譯者 王金土

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十年十一月三十日初版

中華民國六十二年十月十五日再版

電子覺察控制

定價

譯者 王金土 美國夏威夷大學電機碩士

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱 53002 號電話 783686 號

發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林 碧 鏗 郵政劃撥帳戶第 15795 號

印刷者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段151號 電話 979739 號

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤爲社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遂承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鐸氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分爲：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分爲譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當爲該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廣即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

原序

電子覺察控制提供一大類工業電子設備之基本理論。覺察控制使簡單之各項處理諸如計數、分類、測量與檢測等自動化，使工人免於從事非所希望之工作，其所從事之工作為人類能力範圍內不可能達成者。

此書可分成三部份，第一部份包括第一至三章，提供一般技術與電子學之複習。第二章中介紹比較許多普通使用覺察器之特性，各器件之選取必須僅限於最常用者。第三章複習與本題有關之基本電子電路，包括半導體二極體、電晶體、與積體電路。簡單電路之概圖可幫助讀者瞭解時常使用電路之性質，同時，各有用之普通電路，比較器，差作用與運算放大器，史密特觸發器與單穩定多諧振盪器均予討論。

第二部份即第四至六章係按控制之基本型式安排。此等包括光電，溫度敏感與機械控制，每一型式之控制與其有關之無數用途均予徹底討論。作者僅選擇三族基本控制，使本書之內容更加成為必讀者。

第七章觀察回授對覺察控制之影響。首先，計算回授對一純電子系統之影響，然後對一電氣機械系統作一類似之分析，顯示二種回授系統間之類似點。

此等分析並無考慮非初等系統之活動響應，因其需要具有微分方程之學識，故於本書討論範圍之外。

史迪芬·森姆

目錄

原 序

第一章	電子覺察控制之原理.....	1
第二章	覺察器與轉換器.....	5
第三章	電子電路.....	32
第四章	光電控制.....	67
第五章	溫度控制.....	86
第六章	電氣機械控制.....	101
第七章	回授覺察控制.....	119
索 引		137

第一章 電子覺察控制之原理

一種電子覺察控制 (Electronic Sensing Control) 根據一可以影響一覺察器之現象 (phenomena) 所生之電子反應而做各種不同之決定，察覺控制之輸出可用以修正被覺察之現象，或可用於其他目的。無論此一控制是如何運用，其結果將是一種人力之節省，或者將是一件由人力甚為困難達成或太過繁複工作之完成。「電子覺察控制」一詞包括許多熟知型式之電子設備，如光電控制 (photoelectric control)、溫度控制 (Temperature control) 以及馬達速度控制 (Motor speed control) 等。又許多不尋常之控制，如超音 (Ultrasonic)、熱 (thermal) 與紅外線控制等亦可列入此一類別。所有此等控制均有一共同基本原理，故彼此均有關連。

一種電子覺察控制主要的可視為一個三個基本方塊之組合，第一元素為覺察器 (Sensor) 或稱轉換器 (Transducer)，此覺察器或轉換器為環境 (Environment) 與控制電路間所有隙縫的橋樑。因為此一橋樑為介於受覺察現象與電子電路之間僅有的連結，故其動作情況與特性甚屬重要，且可大幅決定控制之動作性能。覺察器之輸入可為任何物理量，如光、熱、壓力、力或速度等，而覺察器之輸出可為一電壓或電流，另一種不同之輸出可能是電氣量之一種變化，此一變化可能為電阻、電容、或電感所產生者，此等變化可以極其容易的變換成為相當的電壓或電流。實際上兩種型式之覺察器可供每一用途所利用，第一種型式之覺察器有一相當於其輸入之輸出，此一覺察器將是一種非線型 (Non-linear) 或遵循規定之圖型，其工作情形可能每件均有極大變化，此一型式之覺察器主要之分類係根據其靈敏度與其複製能力，但是最好希望輸出大約與輸入成比例，更重要的是在同一輸入情況下吾人所得之輸出經常是為恒定。此一意義即說明所希求之條件可被建立，而覺察器之響應 (Response) 可被校準使其適合於一二工作點，一旦校準完畢，可於該點或校準之數點始終不渝的工作。

第二種型式之覺察器同樣亦有一相當於其輸入之輸出，然而此一相當對偶即或是一種線型性質或為真實服從某些其他數學規則，它從物理性之輸入

變換成電氣性之輸出時係依照規定之轉換函數 (Transfer function) 。每一種覺察器在特性方面可能相當均勻，然所不幸者，此種覺察器之線型特性可能需犧牲輸出幅度而獲得，此一型式之覺察器可以稱之為一種「轉換器」，(Transducer) 蓋因其具有規定之轉換函數之故。

此兩種型式之覺察器之間在靈敏度上可能有一相當之區別。此處所謂「靈敏度」(Sensitivity) 意指一已知輸入變化之輸出變化。第一種覺察器一般言之具有甚高之靈敏度，此一性質可能簡化其附屬之電路；第二種型式通常具有靈敏之輸出，故時常須加入相當量之電路以獲得一有用之幅度。

覺察控制之第二元素為必須之電子電路 (Electronic Circuitry) ，何項始為必須者乃基於覺察器之型式所需求之結果與適當之輸出而定。電子電路之工作有三項，第一，它必須充當覺察器之一種信號調節器 (Signal Conditioner) ，此一意義指覺察器之輸出必須被變換成某種希望之電壓或電流；放大工作亦係需要的。覺察器之輸出可能需要單一化 (Normalized) ，或者以一特定之電壓或電流或其輸入量為基準。信號調節之工作包括所有必要使覺察器之輸出成為有用之工作。此一電路之第二種作用為對於被調整之覺察器輸出作某種形式之數學演算，此一工作可能是決定覺察器之信號係大於或小於某一任定之限度。此一電路亦可用做覺察信號之加、減、乘、除、積分或微分等工作。最後，在覺察信號已被作用之後，此一電路必須將結果轉譯成一種適當之輸出，此一輸出可以是一種放大後之信號，一種誤差電壓，一種受控制矽整流器 (SCR , Silicon-controlled rectifier) 之開門控制，或繼電器接點之合攏。無論其輸出為何，此一電路必須充當一交接面。

最後一個方塊為輸出驅動器 (Output actuator) 。此一機件係由電子電路之引導而從事其工作，它為覺察控制之筋肉。某些常用之輸出驅動器為電氣馬達，環狀線圈 (Solenoid) ，繼電器 (Relay) 、熱線圈、電晶體、矽整流器、以及電氣操作之活門 (Valves) 與其他機械等。

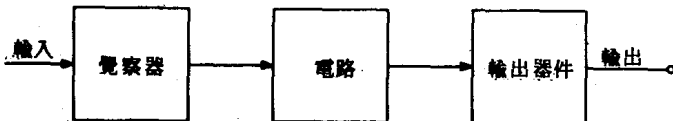


圖 1-1 一典型電子覺察控制之一方塊圖；包括一覺察器，必要之電路與一輸出器件。

作成決定之控制 (The Decision-Making Control)

電子覺察控制被大量使用於作成決定之應用上。作成此等決定之基礎為覺察器之輸入，決定之方式可能是行不行，是或不是，或多或少等。此等決定根據控制之構成被安排於其內，而此一採取動作之分界點可以由內部或外部定妥。為加以說明，試考慮一溫度控制器，其內部之安排可能安置如下：第一，將溫度變換成電壓，將此相當於溫度之電壓與一基準電壓比較，假如此一差數為負，輸出繼電器之接點隨即閉合，假如此一差數為正，繼電器之接點隨即開啓。顯然，此時之控制係關於所覺察溫度高低所作之一種決定，依據實際溫度與期望溫度間之關係，採行一項動作。

另外一種類似之控制為馬達之低速與超速控制。有了此一型式之控制，當一馬達之速度超過或低於某一速度時，則一種指示燈或動作隨即跟起，此一型式之控制顯然係一種覺察控制，因馬達之速度發生了作用且被覺察，此一控制之工作方式可由產生一與馬達速度成比例之電壓，然後將之與一基準電壓作一比較而以達成；此一比較之工作可簡易的由一量減去另一量，並視其相差之極性而工作。根據相差之極性，所呈現馬達之速度可能或不可能為令人滿意者。

假若所希求者為保持某一受覺察量於固定時，此一控制之輸出可用於此一目的。當此一量並不處於兩極限之內時，此控制隨即感覺，然後招致一次的校正。此一動作稱之為反回授或負回授 (inverse or negative feedback)，因為此結果被授回到輸入以修正同一結果。至於大部份指示控制或警告控制僅需一種「開、關」型式之輸出，而此一型式之輸出對回授控制即不夠充分。蓋一種「開或關」之控制僅允許兩個狀態 (states)；它或者需要校正的動作或者完全不需要此校正的動作。假如僅需要一小量之校正動作時，可能所取之校正量過多，蓋此種控制不能調節所需要校正動作量之大小，而此一過份補償之校正動作實則導致期求結果與實際結果之大幅差別，一適度之輸出必須是與必要校正之量成比例的，即是，假如必要作一大量之校正，此一輸出必定是比需要作一小量較正為大。此一情形就必要一種線型之回授控制。如此一種控制可能仍需要於輸入與一基準之間作一比較，然而，此時之輸出將是二者之間相差量與相差極性之函數。線型回授控制大部份係使用於某些量需保持恒定時居多，非但其性能通常較二狀態控制者為優，且其結果可以極為容易的以簡單數學關係加以預測。

覺察控制具有一線型輸出與可受調節之覺察器之間有一明確之分別。

察控制之輸出並非由覺察器所調節之信號，但它係由覺察器曾經工作過之信號。一覺察控制具有一線型反應的輸出，係做為輸入修正之用，故為一種負回授環路中之信號。至於由一覺察器調節之信號如再加上額外之電路與零件可能會達成一項覺察控制之動作，其本身單獨並非是一項覺察控制。

覺察控制之種類有許多不同之類別，此一事實一部份是由於用途之多；且亦由於可能用來達成所欲目的之方法各有千秋。此類控制可以根據其所從事之工作而可以組合成若干群，或根據其用以工作之方法而可以組合成若干群。本着工作時所具有之類似點來做分組可允許每一種方法之說明更為透徹且避免重複。覺察控制每一型式之工作情形依據其所使用轉換器之型式及輸入之性質而有極大之差別，是以，當依照覺察器對於輸入之反應而做分類時，此等控制於邏輯上即已受到處理。於此書中，吾人將分別討論光電、溫度、與機械輸入等以及回授控制。雖然最後一類可能包括最先三種，但是回授控制之使用如此之廣泛，以致獨享優惠，再予討論。

第二章 覺察器與轉換器

覺察器或轉換器爲非電氣現象與電氣電路間做爲隙縫橋樑之器具。因爲電氣之電路可能製成具備優越之直線性、靈敏度與多藝性，故覺察器或轉換於整個鍊結中爲實際決定覺察系統工作性能之因素。覺察器之品質通常亦運帶決定覺察控制之品質，一輸出機器亦將偶而限制此一控制之工作性能，但普通此係於一可資改善性能之地區爲然。

「覺察器」(“Sensor”)與「轉換器」(“transducer”)表示一種可以對一物理現象反應且將某些現象之性質轉譯(translates)成電氣性能之器件，此一電氣性能可由一電路繼續處理。此察覺器或轉換器必須僅能對一事發生敏感，但所有物理上之器件對於許多現象均會敏感，因此吾人需要一種器件，對某一種現象有極強之靈敏性而對於所有無關的現象其靈敏度極小。譬如，某一種可以期望品質之光線覺察器對於溫度、壓力、溫度、放射性與振動均爲非靈敏性(insensitivity)者。若吾人不能得到此等非靈敏性質之覺察器或轉換器時，吾人可試用某種補償方式以減低此等靈敏性至最低限度。

覺察器或轉換器可能需要對物理現象之質或量有所響應。一光線覺察器將對於投於其上之入射光線之量與該光線之顏色均作響應。至於一種或者其他靈敏性亦可能希望得到，譬如一種控制監視一染色了之編織品之顏色(colour)不應該對由其反射光線之量(amount)有所敏感。

覺察器或轉換器之輸出可能與所覺察之現象成爲線型或非線型之關係。一器件之靈敏性可以計算得知，其法即將輸出量之一小增量除以其輸入量之相當增量。假若靈敏度對於輸入現象之廣闊範圍內極爲恒定，則其響應爲線型者，而此一器件通常稱之爲一覺察器。因線型性質爲相對者，故所有轉換器亦稱爲覺察器。一線型覺察器之價值爲對於任何輸入之響應假若靈敏性(輸入對輸出曲線之斜度)與在一點之響應爲已知時即可預測。因各種電氣電路絕大部份是或者可被製成線型者，故控制系統之設計者當已知一線型覺察器時即可極爲容易的預測此一控制之工作情形。

覺察器之響應為一種電氣性質，它可能為一電壓或一電流、一電阻、電容、電感或電阻抗，它可能為一隨時間變化之電壓，一週期性電壓或一任變電壓（random voltage），不管其型式如何，電氣電路將其再加修飾、放大、整形後用以控制一輸出器件。覺察器之電氣特性與其物理性質密切連結。自然的，此等電氣性質愈為簡單，覺察器用於電子覺察之控制希望愈大。很少覺察器能夠放出足夠之功率使輸出器件直接動作，其大部份必須接受某種型式之放大，此意指需使用一種真空管，半導體或磁性放大器，故一覺察器之有價值品質為其與現有電路簡單工作之能力。此即謂有適度之電阻抗水準、電壓水準與電流水準。若一覺察器需要一極高之阻抗負載，或需要一低雜音放大器，此等電路必須被加入覺察器之成本上，因無他們即不能使用。

另一考慮因素為覺察器之重複性質，此意指二事，第一，覺察器應日日具有相同之工作性能，若其需要經常調整時，則此一覺察器控制即甚少價值，因為需要維持其工作勞力之故。第二，覺察器每件具有相同之工作性能，此點使覺察控制之設計與製造簡單化，故當覺察器被換新時可以免除調整之工作。覺察器如有更多可以彼此互換之零件，則靠其構成之電路亦更可以簡單化。

覺察器與其環境相互作用，由於如此，它影響或改變它試圖覺察之物理現象。故所期望者為使一覺察器對其環境僅產生最低限度之影響，假若它係覺察一入射光線時，它所遮擋者應盡可能之少；假若它係覺察一液流，它所阻擋者應盡可能之少；假若需要測量溫度，覺察器不應供出熱量；假若所覺察者為運動，則運動不應被阻擋。此種不相互作用之性質對於覺察器之靈敏性互不關連，然而相互作用之量應盡可能保持越輕越佳，否則覺察器將消耗掉它試圖控制之現象。

顯然的，很少覺察器能夠實際合乎此等工作性能之條件。所幸者，很少應用需要所有條件均需滿足。假若覺察器能合乎應用上之需要條件時，它所滿足者並不止於此。一覺察控制之設計者首先必須建立所要覺察之物理現象與由此一控制所需之最後輸出。此事完成後，覺察器可被選擇以滿足輸入特性。最後，介於覺察器與輸出器交接之電子回路必須設計。應用為系統設計之主要決定因素；覺察器與電子裝置於重要性之順序上均屬次要者。還有將與所有覺察器可希望之條件表列之益處為此一表可於考慮應用時加以檢查摒棄各種非緊要之品質，然後，覺察器可以客觀的由可用之器具中選擇，記住為覺察器之使用所需之電子回路之工作方式。

所幸的，許多種類之覺察器與轉換器均隨心可得，而大量種類之此等器

件如欲每類單獨詳細檢視非為可能之事，是故吾人將檢視幾種較為常用之器件，以便介紹熟習何種為隨意可用者而何種為廣泛使用者。

電位器(POTENTIOMETERS)

電位器係廣泛使用於線位移與角位移之測量，一個電位器轉換器（不可與測量電壓之電壓計（POTENTIOMETER）混淆）包括一電阻連同一可調整之分接頭（tap）（見圖2-1），此一分接頭可與電阻之整個長度接觸。此一電位器總共有三個端點，其中兩個連接到電阻，而第三個為一分接點。前兩端點間之電阻為固定，而至於分接點與任何其他端點間之電阻可由零變化到整個電阻值。分接點對於電阻之接觸位置係由接臂（arm）或軸心控制。在旋轉式之電位器之情形，電阻係成形於一圓柱形中，於圓柱形

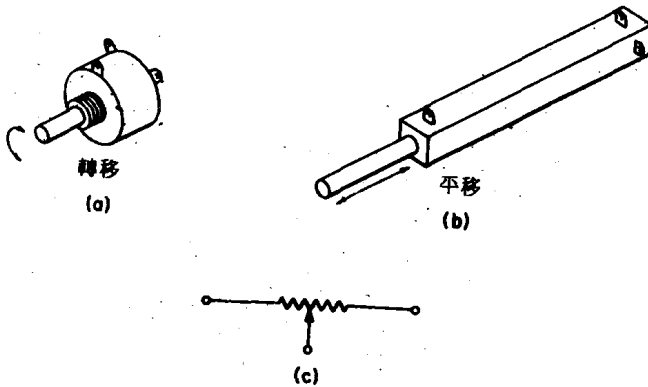


圖 2-1 簡單電位器：（a）慣用之旋轉式電位器；
（b）一線型移動電位器之構成；（c）一電位器之草圖符號

之中央有一軸心轉動一可動之接臂或接掃（Wiper），此一接臂與電阻之表面接觸。接臂之位置為相對角位移之一函數。此一旋轉式電位器可與齒條小齒輪組（Rack-and-pinion gears）齒合以測量線位移。然而，如使用一種電位器其電阻元件係安排成一線型方式而不為一圓柱形者可能較為簡單，此處分接點之位置可由線位移直接控制。

使用時，一固定電壓加於兩電阻端點之間，以致分接點之所成電壓（

Resultant) 與所加電壓與軸心之角位移或線位移直接成爲正比。然而，如果相當量之電流流出分接點時，必須使用此一電位器之一個戴維寧等值電路以求得分接點之電壓。由分接點所饋之電阻於適當準確度下至少應比電位器之電阻大十倍。

最爲簡單且爲歷史上最老形式之電位器爲滑線形式 (Slide-Wire type) 。電阻元件爲一條直電線，而分接點沿其長度移動。其缺點爲其低額定電阻值。爲了實得更高之電阻值，需要一條長線。爲了使此一長線縮成適當之大小，此一長線被纏繞於一不導電之卡片或將其變成爲螺旋狀之安排，此等所謂之線繞式電位器目前使用甚爲普遍。再者一種導電物質如碳精或導電塑膠亦可用以當做電阻元件，以取代線式電阻元件之使用，利用此等元件即可能製成兩端點間極高之電阻，此等形式之電位器可能較線繞式者具有較高之微細度 (Resolution) 。微細度爲一種量度使用電位器所能達成之調整精細程度。微細度愈高，則分接點所放置之位置可能愈爲精確。如一電位器之微細度爲百分之 0.5 時，僅有 200 個位置可供分接點擺放。一線繞式之電位器之微細度視所用線繞之匝數而定，一較高電阻之元件具有較多之匝數，結果比較低電阻元件且有較高之分解度。碳精電位器較線繞式具有較高微細度，但於其他方面之比較非盡上乘。一碳精電位器之微細度視碳精之顆粒大小而定。

電位器爲測量位移之各種最簡單且最優越轉換器之一，因其爲正確，線型且價廉，而需要驅動大部份高品質之電位器所需之力矩通常甚低，因係爲高忍度，精確結構與使用軸承之故。

線型變化差作用變壓器 (Linear Variable Differential Transformer)

一線型變化差作用變壓器係用以測量位移，此一變壓器 (簡稱 LVDT) 有一個一次線圈與兩個二次線圈，此線圈均繞於同一軸心上 (圖 2~2) 。鐵心爲可動者並接到一軸心上。此兩次線圈之接法使二者之電壓彼此相減。當由一次線圈至每一二次線圈之耦合相等時，此兩個二次電壓相等而淨輸出電壓爲零。假若鐵心稍從中心位置移動時，輸出電壓將增加。

因 LVDT 爲一變壓器，其一次線圈必須加一交流電壓，此一電壓通常低於十伏，在 60 赫至 400 赫之間。因爲線圈之漏磁與欠匹配之關係，於零點將會有一固定電壓，但此一誤差電壓通常小於全輸出電壓之百分之一。一次電壓之頻率限制鐵心能夠移動之速率。

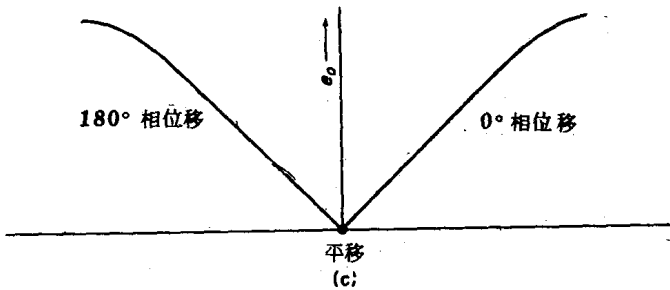
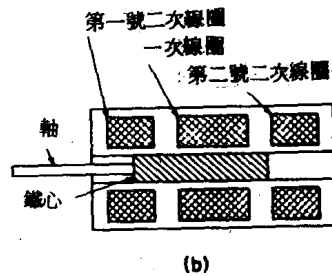
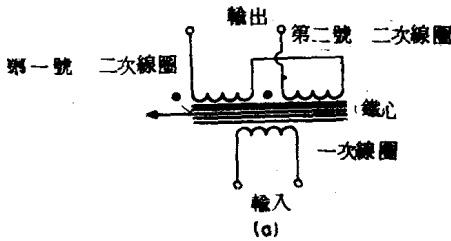


圖2-2 線型變化差作用電位器 (LVDT) (a) 概圖符號；(b) 斷面圖表示線圈之安放與可移動之鐵心；(c) 電氣特性表示於輸入電壓固定時，輸出為可移動鐵心平移之一函數

輸出電壓於大小上與鐵心由零點位置之位移成正比，輸出電壓之相角在鐵心移過零點時將突然由 0° 變化至 180° ，如此，假若鐵心位移之大小與方向必須為已知時，則輸出之振幅與相角必須受覺察。輸出相角係以一次電壓之相角當做基準。

LVDT所移動之長度可達數吋。由一次線圈所產生之磁場將對鐵心施

一小力量以拉回至零點位置，此一小力量通常小於1克。因為LVDT為一磁性器件，必須將它保持遠離其他變壓器與磁性物體，以防產生誤差。

應變計(Strain Gauges)

應變計為大部份使用於力之測量與控制之轉換器。此一計器通常以電線構成，此一電線表現出電阻之變化為應變之函數。〔一種「應變」(Strain)，係於外加應力(Stress)之下，為一種片刻之變形或一材料之伸長)〕。

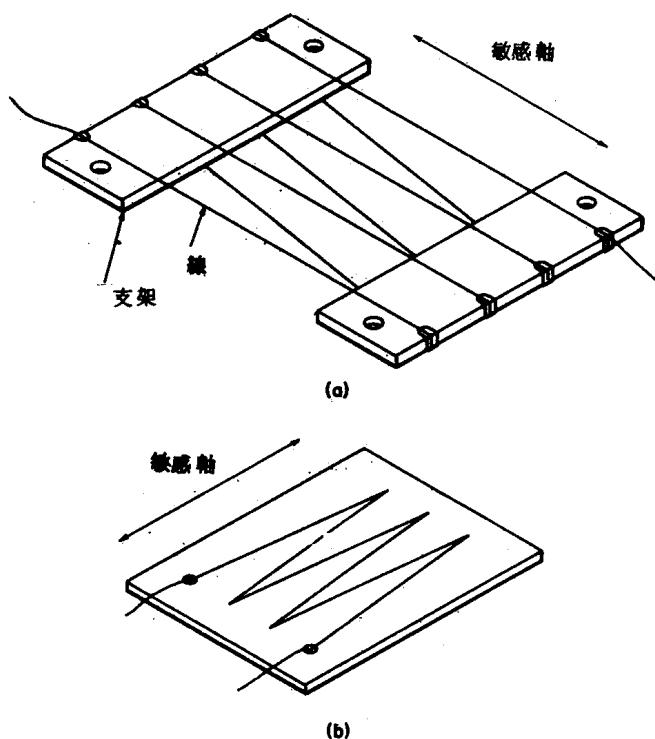


圖2-3 應變計；(a) 無包束導線計之構成；(b) 包束導線計之構成；(c 後頁)
包束摺疊式線計。(相片由 BLH 電子公司惠供)