

科學圖書大庫

固態電子學入門

譯者 劉志放

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

固態電子學入門

譯者 劉志放

徐氏基金會出版

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

中華民國六十五年十二月二十二日初版

固態電子學入門

基本定價 2.00

譯者 劉志放 台灣電力公司研究所研究工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

我們的工作目標

文明的進度，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，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。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，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而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，彌足欽佩！

本基金會係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，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧璽氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、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，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

譯 序

自從一九五一年發明電晶體以來，固態電子科學的發展突飛猛進，從分立元件到積體電路，再進步至大規模積體（LSI），各類電子裝備也已成爲生活上不可或缺的物品，因此，每個人都應具備起碼的電子知識。

本書最大的特色有二：一、能夠供毫無數學基礎及電子概念的人研讀。二、能夠使毫無技術的人學會技術概念。本書的內容極爲充實，舉凡各固態電子零件的工作原理、規格、製作方法、應用等無不作了詳盡的介紹，讀完本書後，正如前言中所誇口保證的，所學得是深入的知識，而不是一般基礎書籍所能得到的皮毛。

本書之翻譯校對，多於公餘課畢之際，雖多次校訂，但錯誤之處，仍或難免，尙祈諸先進不吝指正，是所至禱。

劉志放 謹識

民國六十五年十月

前 言

本書是為一些想了解電子學，或必須了解電子學，但無法花很長時間去學的人所編寫的。本書第一大特點是不用數學而說明工程概念——因而在本書中除了一些小學程度的算術外，你見不到其他任何數學式。本書第二大特點是要使沒有任何技術的人學會技術觀念，這些人以前對門鈴的接線都會感到困惑。因此本書是由很基本開始，而順序解釋每一新觀念。

大多數試圖使科學通俗化的書籍，不論讀者多麼努力，往往僅能得到一點皮毛的知識；但是唸完本課程的人，我們敢保證就算他與電子工程師作技術上的談天，也都能勝任愉快。

本課程原先是作成 12 小時的錄影帶，然後再修改成 18 課的系列，發表在電子介紹 (Electro-Procurement) 雜誌，以及 T1 (Texas Instruments Incor.) 內部的刊物。因此，從售貨員到機械工程師，成千的人都接受過這些課程，在他們的報告中，皆聲明本課程對他們的助益不少，而本課程也因他們建設性的建議，改善了許多。

如果本書能幫助你更有效的從事工作，或幫你更喜愛你的嗜好，我們出版本書的目的就達成了。但是，如果我們能成功的加深你對這種技術的了解，進而增加人類未來的福祉，那便是我們更大的滿足了。

第一章專有名詞

電子 產生電性的微小粒子。

電壓 導線或電路中電子的壓力或密度，通常以伏特 (V) 表之。

電流 電子的流量，通常以安培 (A)，毫安 (mA) 及微安 (μA) 表之。

電阻 當電壓加上時，導線中電流移動所受的阻力，通常以歐姆 (Ω) 及仟歐 ($K\Omega$) 表之。

直流電 電子流僅為單一的方向，簡寫為 dc。

交流電 在一定的時間間隔，電子流反覆流動方向，簡寫為 ac。

頻率 每秒鐘內交流電完成的週期數 (轉向後，再回至前)，主要是以每秒週 (cps) 及其乘倍值表之，如今改以等值的單位如赫 (Hz)，仟赫 (KHz)，百萬赫 (MHz) 及十億赫 (GHz) 表之。

數位 經由開關動作，使電流開斷，而自電路中傳送資訊的方法。

類比 調整電流或電壓，而自電路中傳送資訊的方法。

調幅 改變電波振幅的大小或高度，以達成自電路中傳送資訊的一種類比方法。

調頻 改變電波頻率，以達成自電路中傳送資訊的一種類比方法。

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 1058

目 錄

譯 序	
前 言	
第一章 電系統中電是作甚麼用的.....	1
第二章 系統中的基本電路功能	17
第三章 電路如何作成決策.....	33
第四章 系統與半導體.....	47
第五章 二極體：它們作些甚麼及如何工作.....	64
第六章 二極體性能及規格.....	77
第七章 電晶體：它怎樣工作及怎麼構成的.....	89
第八章 PNP 電晶體及電晶體規格	104
第九章 閘流體及光電子學.....	118
第十章 積體電路.....	138
第十一章 數位積體電路.....	150
第十二章 MOS 及線性積體電路	166
題 解.....	175
索 引.....	176

第一章 電系統中電是作什麼用的

在我們開始學習半導體及電系統之前，首先，我們以兩個敘述作為開頭，以簡化吾人的概念。第一個敘述是：所有電系統不是操縱資訊（information），就是作工，或是兩者一齊。無論系統實際是多麼複雜，系統所作的任何事情必定為上述二者之一——即操縱資訊或作工。

第二個敘述是：所有電系統的結構，都是極為類似的。因而吾人可用“通用系統結構”（Universal system organization）來稱之，任何一系統都可區分成此結構的三大部份：感覺部份（sense），決策部份（decide），及動作部份（act）。

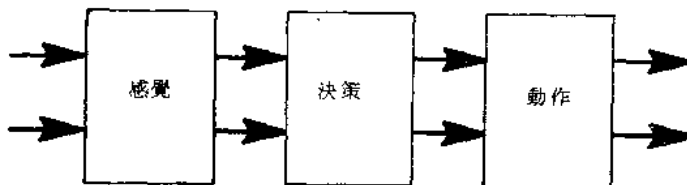


圖 1-1

圖 1-1 為“通用系統”的方塊圖，系統必定含有輸入，以輸入箭頭表示，通常，輸入的資訊常是非電性的——例如，按下汽車的啟動鈕。在方盒間必須要有資訊的流動，如箭頭所示；最後，在動作級，我們把資訊轉變成為吾人希望有的動作，如“動作”箭頭所示。動作可以是作工，也可以是資訊轉變成為所希望的形式。舉例言之，作工可能是電鑽孔機馬達快速的轉動鑽頭。所希望資訊的形式可能是桌上電子計算器的答案數字顯示。

所有通用系統所作的，亦即任何電系統所作的，皆不外是操縱資訊或作工。而且，在每一系統我們都可以找出資訊輸入，也能看出資訊在內部流動，以及最終的動作。人體有點與它相類似；當你碰觸到一個熱火爐，手指會感覺到熱，這是資訊的輸入；資訊接著傳送到腦裏，腦是系統的決策部份，決策作好後，將資訊結果傳送到動作級——你的手，這時資訊轉變成為希望的動作，就是很快的移開手指，移開手即是作工。但是如果你的手被火

爐夾住了，而無法移開時，你必定會呼救，呼救就是資訊轉換成另一種形式——與作工相反。因此，我們可以發現，人體的系統正如同電系統一樣，可以區分成感覺、決策、及動作三大部份。

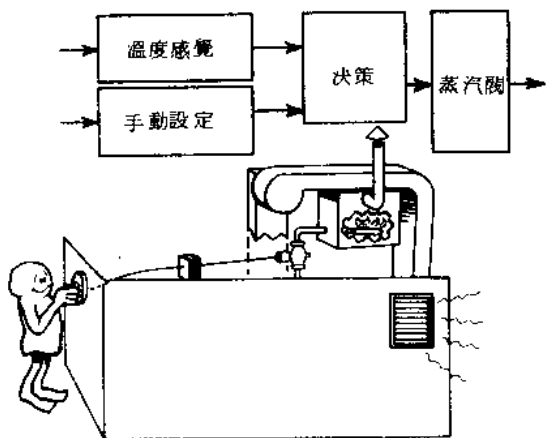


圖 1-2

現在，讓我們更趨近電子一些，圖 1-2 所示為一簡單而典型的系統方塊圖，或稱之為功能圖，它是一中央暖氣裝置的恒溫控制系統，此系統必須要有溫度探測裝置，也必須要有能設定至所希望溫度的控制器。這兩種裝置都能把外來的資訊轉變成為內部能夠處理的形式。溫度感覺裝置是一種溫度計，當室內溫度高於

或低於所希望的標準時，能告知系統；而控制器則告訴系統希望的標準溫度是多少。因此，我們可以說這些裝置能將外來資訊轉變成為系統內部能夠處理的資訊。然後，系統必須運用這兩股資訊，並使之到達決策部份，此時可以決定燃料閥該打開或關上。若所作的決策是“啓開”，燃料閥驅動器會將此資訊轉變為動作，移開相當重的閥。這裏，我們再度的看到系統是結構或通用形式的：感覺、決策、動作。同時，我們處理的仍然是資訊與作工：資訊在輸入，作工在輸出。

我們再看看另外一個例子，圖 1-3 所示為一唱機或高傳真系統的方塊圖，首先，由唱針或卡帶我們有了輸入，唱針刮過唱片的溝槽時，相當是執行了感覺功能；同時，我們也有來自音量或音調的手動控制輸入；由各輸入裝置進來的內部電資訊，通常先進入一前置放大器（preamplifier），它可決定揚聲器所應該作的——此決定是在輸入資訊信號及功率放大器間作成的，放大後的信號送至揚聲器，最後的動作是在空中產生聲音。因而，可以再一度的證明，我們能將整個系統區分成三大部份：感覺、決策、動作。

也許你會聽過這三個系統級的另外表示法，我們所以選用“感覺、決策、及動作”的表示，是因為這樣比較容易繪圖，且容易分辨。因此另種表示

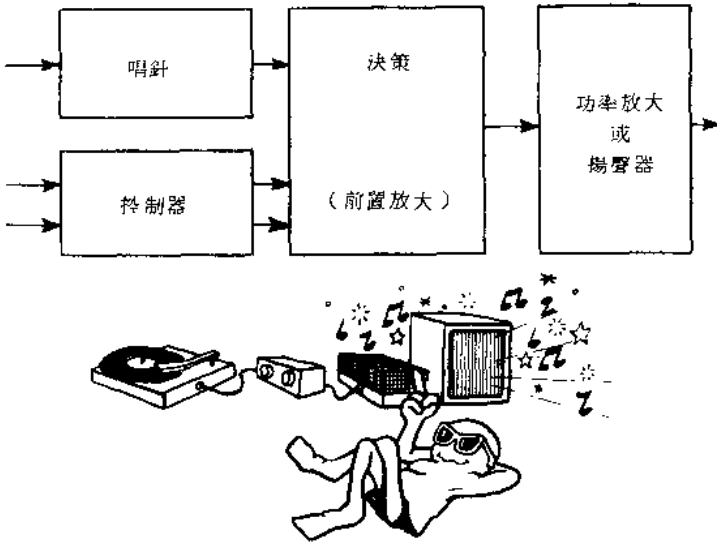


圖 1-3

法“輸入、處理、輸出”與我們所採用的意思相同。也許你聽過所謂的“輸入分界”及“輸出分界”，這些對感覺級與動作級而言，是很恰當的名詞，因為這些級所作的正是一種“分界”(interface)，也就是作為外界與電系統間的資訊轉換與作工。

火爐控制系統與電唱機都是相當簡單的系統，然而，我們現在來看看一計算機，並研究一下此相同的通用結構如何應用在如此較複雜的系統上，圖 1-4 所示為計算機，它也是區分成三個主要部份，但是，由此處我們可以看出計算機複雜性增加，是因為感覺或輸入方塊又區分成兩部份，分別供

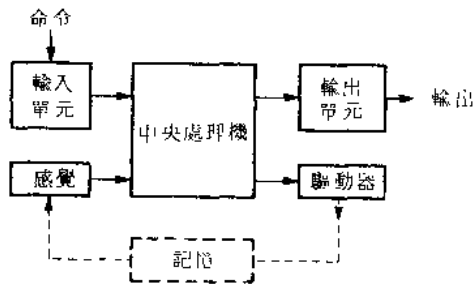


圖 1-4

應兩股資訊，同樣的，動作或輸出也區分成兩部份。以通用結構而言，決策部份就是計算機內的中央處理機（central processing unit）。

系統怎樣以電來操縱資訊與作工？

如今你對電及電子系統的結構，已經有了相當的瞭解，次一問題是“電是如何作操縱資訊與作工的？”電及電子系統是藉電路（特別是利用半導體）以介質電，來達成這種功能的，因此，本書以後我們將會談到電路與半導體，但是現在，我們必須進一步的瞭解電是如何操縱資訊與作工的，是電性中的電壓、電流、及其他特性使得它能作這些事的嗎？

電是相當簡單的，它的特性像液體，能與水一樣的流動，有傾向填滿它所能到達的所有空間之能力，電是由叫作電子的微小粒子所作成的，而電子存在於每一物質中。在金屬導線中，電子可以像幫浦（pump）抽水一樣以發電機或電池抽送。電子彼此互斥，故能以均勻的密度存在於導線中，正如同水受地心引力影響，能成為相同的水位。因為水與電的性能是如此的類似，我們可以採水流解釋電的特性。

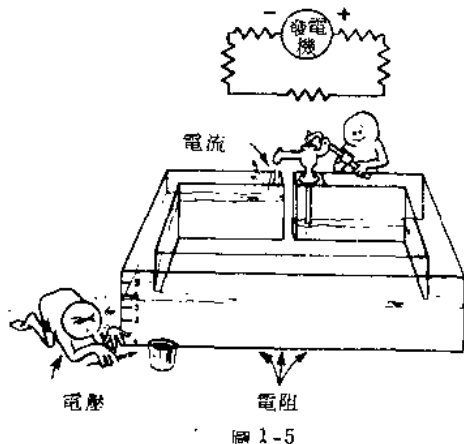


圖 1-5 所示為一上端打開的水閘，水閘內有水，我們也看見一個人及一具抽水幫浦——相當發電機；當此人由水閘一端抽水送至另一端，水堆積而成高水位，擠壓水閘的輸入端，尋找低水位的另一端而往該方向流動。電所作的也是這種事情。當電子抽送至導線的一端，電子會堆積而成高密度，往低密度的導線另一端流動，電子密度可以想作電壓，以伏特量度之。電壓（voltage）

即電子壓力的量度。

比較水與電，我們可以看出水閘中水的高度，相當於電子的密度，但是在電方面，我們也必須關心電子的流動，吾人稱之為“電流”（current），水的流量以每分鐘的加侖數表之，電子或電流的流量是以安培或“安”表之。

電路中，電壓與電流間的關係，就好似水閘中水位與水流的關係；在圖 1-6 中，假設上面的水平線是水閘起初的水位，若我們以很快的速率抽水注入左端以增加水位高度，我們也等於增加了該端的水壓。因而，水以更快的速率——每分鐘更多的加侖數，流向右端，電也是一樣，若我們增加電路的電壓差值，我們也能夠增加電流的流量或安培數。

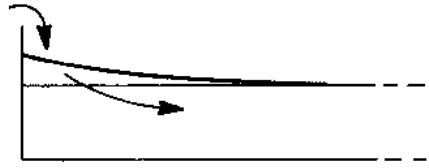


圖 1-6

另外有一種因素能夠影響水流與電流，此因素稱為阻力 (resistance)，若為水流，阻力的產生主要是由於水閘壁的壓縮，電也同水一樣，其流動因導體特性而受限制，當導體特性保持不變，不論是水閘或導線，阻力必為一定值。

但是，阻力是可以改變的，圖 1-7 所示為水閘邊壁內縮，擠壓了通道，因此增加了阻力。吾人也可用一可變電阻器作此相同的事。當水閘邊壁內凹究竟會發生什麼情況？如果這個人還是繼續以每分鐘相同的加侖數抽水，水閘一端的水位會升得更高，電也是一樣，電壓差值會增加，也就一端升得比另一端更高。因此我們發現電壓、電流，及電阻彼此是相關連的，改變了其中一個，另一個或另兩個都會改變。

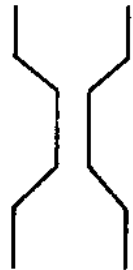


圖 1-7

電與水一樣，為了傳遞資訊及作工，必須流動，所謂的流動也就是由一地到另一地，通常在處理問題時，常使之成為一個循環，比較方便，因此我們以“電路”(electrical circuit)表之。

在繼續進行下去以前，我們暫時回到圖 1-5，看看以水類比模型表示的電路簡圖。簡圖中，圓圈表示發電機，進出發電機的線路代表導線，Z 形部份代表導線的電阻，此 Z 形符號也代表電阻器。

電怎樣傳送功率？

電流動所利用得到的是它能由一地傳送能量或功率至另一地，因而某一地的能量能夠在另一地使用，圖 1-8 為說明此原理的水類比模型。當由低壓抽送至高壓時，能量加在電裏；而由高壓降至低壓時，可自電中取回能量。水類比模型中，藉著水車，能量能轉變為鋸木頭之類有用的功。我們可以增加壓力差（水落高度）或增加水流量，以送更多的功至水車。

以電的觀點而言，此處我們所見的幫浦，代表任何能把能量送進電內的裝置，吾人稱之為發電機，發電機是一種可轉變機械能成為電能的裝置，但抽水幫浦更像一麥克風（microphone），麥克風能把聲能轉變成電能。水車為能將電能轉變回外在能量的裝置——正如，馬達能產生機械能，揚聲器能產生聲能。通常為求簡單起見，我們將水車當作一電動機，因而，圖 1-8 所示即為相當該簡化電路的電簡圖。

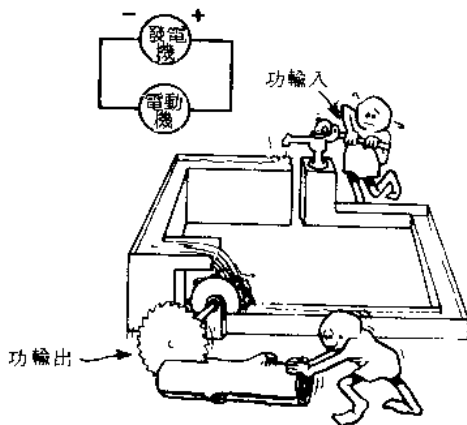


圖 1-8

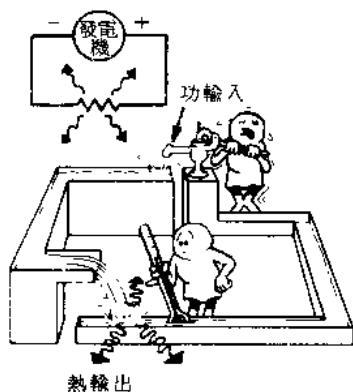


圖 1-9

現在，我們再看看若是水車從水落處移走，如圖 1-9 所示，將會發生什麼情況？水落的其餘部份，移去水車並沒有什麼改變，水繼續因壓力差流到水落處，唯一改變的是沒有功輸出。此時水落相當於一電阻器，但是能量——功仍繼續因幫浦而送進水中，而在水落下時，被摩擦或阻力所消耗，並也如同其他摩擦一樣會產生熱，這也就是能量的去處——使得水開及水溫度上升，電路中的情況也是一樣，任何作功的裝置（例如馬達）若用電路中的電阻器替換，此時除了所作的功改替換成為消耗的熱外，別無其他影響。電阻器因消耗而發熱，這就是電熱裝置及白熾電燈的工作原理。

此處我們一再說明的是任何時間下，電由高電壓流往低電壓——不管是由導線一端流至另一端，或是經過一電阻器，或馬達及其他任何裝置——能量都會產生出來。如果你無法將能量恢復成為功，則將會使導線或其他裝置變熱，在圖 1-9 的簡圖中，熱是以箭頭表示，自電阻器放射出來。

交流電與直流電有何差異？

目前為止，我們所見到的電流都是單方向的，稱之為“直流電”(direct current)，交流電(alternating current)電路的工作與直流電相彷彿，但需一特殊的發電機，能先抽送電流自一方向流過電路及電動機，然後變換成為另一方向；同時，也需用特殊的電動機，能使兩方向來的電流皆恢復而成爲功。

圖 1-10 所示，爲用水力表示的交流電路，此電路相當於圖 1-8 所示的直流馬達及發電機電路；圖中特殊的幫浦代表交流發電機，連接於抽水槓桿的閘門或活塞，開始爲一方向，然後是另一方向的抽送水。因此，在閘門的兩邊輪流產生高壓，亦即環繞著電路，並通過電動機的電流是交變改變方向的，幫浦所作的，是與直流時一樣的把能量注入電內。

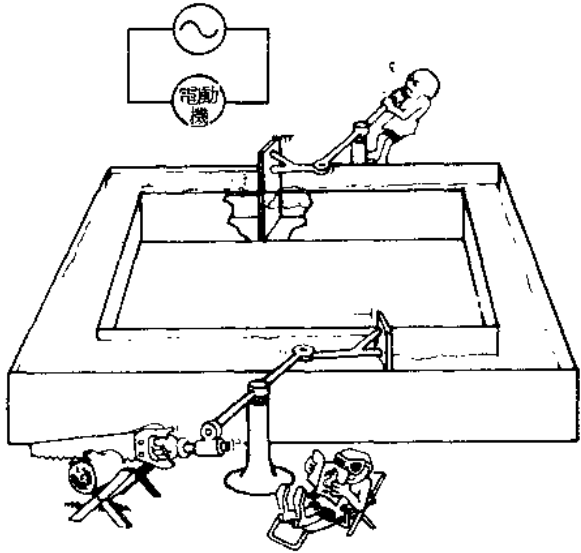


圖 1-10

交流電動機與發電機一樣，是以另一個連接於槓桿的閘門（類似活塞）表示，當閘門左邊壓力高於右邊，閘門移往右方，使電流流向右邊。然後，發電機升高了右邊的電壓，閘門及電流流向左邊。而每一衝程，水作了功，本例中的作工是鋸木頭。

電頻率是什麼？

交流電的頻率 (frequency) 指的是量度其改變方向的次數，亦即，每秒鐘內電流有多少次流往前再流回後的完成一週期 (cycle)，每秒一週即爲一“赫”(Hertz)，可參見圖 1-11。當然，真正電路的頻率要比我們所用的水模型高得很多。你可能聽過千赫 (每秒數千個週期)、百萬赫 (百