為台灣加油打氣專欄(44)我國已有測量極微小電流的能力

李家同

 我們的電子工業常常需要量測一個物體的電阻，當然更需要量測電流，我現在舉個例子來解釋我們量測電流的情況，請看圖一



圖一

圖一內是一個二極體，當電壓上面是正，下面是負的時候，可以通電流，這種電流算是比較大一點的，並不是我今天要講的，現在請看圖二



圖二

圖二的二極體的正負號是反過來的，上面電壓為負，下面電壓為正，意思是說這個二極體的電壓下面比較大，上面比較小，通常我們教科書上說這種情況，二極體是沒有電流的，可是如果我們非常精確地去測量它，我們會發現裡面仍然有一個非常小的電流，這個電流小到什麼程度呢？這個電流通常單位femto安培，一個femto安培等於一千兆分之一安培，一兆等於一萬億，用數學的符號來講，一個femto安培等於安培，這是非常非常小的電流，可是我們現在的半導體工業就需要測量如此小的電流。

我們現在先講如何測量電阻，電阻測量起來好像很容易，請看圖三



圖三

各位一定都知道有一個定律叫做歐姆定律，歐姆定律通常寫成



V是電壓，R是電阻，I是電流。假設我們有一個電流源，然後我們將這個電流源送到我們要測量的物體裡面去，對我們而言，現在物體就是一個電阻，又假設我們已知可以精確地量出電壓V，我們就可以知道電阻R，因為我們可以用以下的式子



問題是我們的I有的時候要非常之小，小到一個femto安培左右，大家應該很高興的是我們國家可以產生這種非常小的電流，如何產生這種小的電流牽涉到很多的學問，我實在沒有能力在這裡講清楚，也許我們可以用一個比喻來解釋如何產生一個小的電流。

在過年期間，中央銀行有的時候發現市面上所流通的現鈔是不夠的，這時候他們就會用一種方法來放鬆銀根，這麼一來，市面上可以流通的鈔票就多一點了，如此可以使大家買年貨等等，可是這會引起一點點價格的上漲，於是中央銀行又有能力在年關以後採取收緊銀根的作法，用簡單的方法講，只要把利率提高一點，鈔票就會回流到銀行去，市面上的鈔票少一點價格也就不會再上去了。

從以上的例子可以看出我們一定要有一個叫回饋的機制，如果現鈔不夠，一旦發現了就要設法使它多一點，一旦發現超過我們的需要就會想辦法使現鈔少一點，現在我們產生了一個電流，我們也要有一個機制判斷我們的電流是否太高，一旦發現高出我們的要求，我們就設法把它降低，這種機制一再使用就可以得到一個非常小的電流。

在下面我們要介紹如何測量電流的大小，當然我們還是要用以下的公式



但R是未知數，所以我們要想個辦法將I算出來，請看圖四



圖四

所謂算電流一定要假設這個電流是在指定的電壓之下的電流，因為不同的電壓會有不同的電流，現在我們一定要假設我們的電壓是多少，也就是說我們所假設的電壓是V，在這種情況之下我們要去量電流，注意我們不知道R，但是我們可以將R的下面串連一個電阻$R\_{s}$，我們再加一個電壓叫做V’，這個V’究竟該多大並不太重要，重要的是，在R的兩端我們一定要使得這兩端的電壓保持為V，這個V就是我們一開始就假設的條件，如果真的如此，我們又知道$R\_{s}$的大小，我們可以很精確地量出$V^{'}-V$，因此我們可以用以下的公式求出I:



我們應該滿足了，因為這一個電流就是電阻R在電壓為V的情況所留的電流，也就是我們所要的結果，大家一定會問，你怎麼能夠保證R的兩端一定是V？這又牽涉到回饋，也就是說如果我們量出R兩端的電壓大於V，就設法使它的兩端電壓降低，如果小於V，就使這兩端的電壓升高，慢慢地就會達到我們所要求的V。

從以上可以看出來，我們的確要知道電路設計是不容易的，回饋是類比電路中間相當重要的觀念，我所知道的這家公司有相當多的類比電路工程師，他們有十幾年的經驗才能夠有這種能力。

可是我們的電路總是裝在一個基座上，這個基座只要有一點點稀微的變形就會造成內部的一種電壓，這個電壓當然是很小的，因為有了這個電壓，也就會產生一個電流，在一般不講究絕對精密的儀器而言，這個電流是無所謂的，可以忽略，可是我們現在所要測量的電流是非常非常小的，任何這種電流不可以存在，因為如果這種電流存在，我們所量出來的是因變形而產生的電流。

怎麼辦呢？大家不妨想想看，古時候有些有錢人害怕外面的窮人來干擾他，就建造了一個古堡，而且在古堡外面造了一個護城河，如此一來，外面的騷擾就不影響古堡的內部了，所以我們國家的這個儀器內部的線路周圍是挖空的，如圖五，這樣基座的變形就幾乎不會影響到我們的電路了。



圖五

還有一點，也是相當重要的，那就是我們的電路當然都有地方要焊接，如果兩點之間的焊接大小等等不完全一樣，這又會產生一個令我們不安的電流，所以我們要絕對的要求，我們電路的所有接點，它們的焊接都完全一樣，這也是最後成功的一個要點。

能夠量測到如此微小的電流，當然不是容易的事，可是這種技術也不是別人能夠學得會的，因為這裡面還有很多瑣瑣碎碎的其他技術，每一項技術都非常重要，只要有一點差錯就會出問題，為什麼能夠成功，很簡單，十年磨一劍，我們的工程師知道，他們絕對不能夠借助外來的技術，一定要能夠從最基本的一點一滴搞清楚所有的細節，這種下苦功是要有毅力的，也要有耐心，可是一旦成功了，別人也趕不上了。