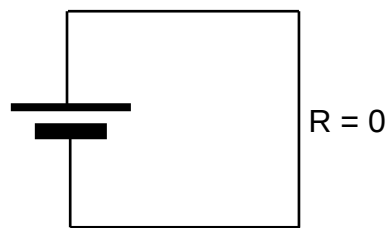
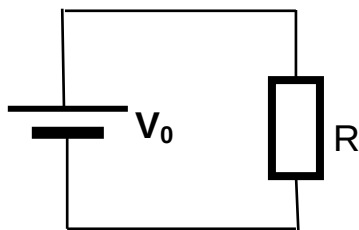


用一條完全 **沒有電阻的電線** 把一個電池短路。電流無限大，電池的功率 ($P = VI$) 無限大。但電線沒有電阻，即是不會發熱 (因為 $R = 0$ ， $P = I^2 R = 0$)。沒有 joule heating，又何以會無限大功率？



能量去了那裡？



我們先看看在一般情況下，電流是如何增長的。

1. 雖然這個電路沒有電感器 (inductor)，但要引入自感(self inductance) 才可和現實配合。

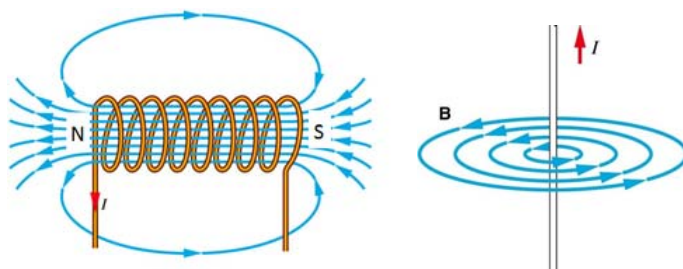
電流通過電線產生磁場。當磁場改變，自感現象就隨之出現。

雖然電路沒有連接電圈，但 **電路自己本身就是一個一匝的線圈！**

甚麼是「自感」(self-inductance)？

簡單而言，「自感」是「電線流過隨時間改變的電流在**自己**本身產生**電磁感應**，**最終效果是阻碍了電流自身的變化**」。

一個線圈，一捆電線，簡單如一根電線，當電流流過它們時，在它們周圍都會建立起磁場。



當流過這些導線的電流隨時間改變，在磁場裏的導體會發生電磁感應。導線自己也在自己的磁場裏，可以在導線自己也發生電磁感應？可以的，這種電磁感應稱為「自感」。根據楞次定律 (Lenz's law)，感生電流會減慢磁場的變化。所以，在「自感」發生的電磁感應會阻礙原電流的變化。

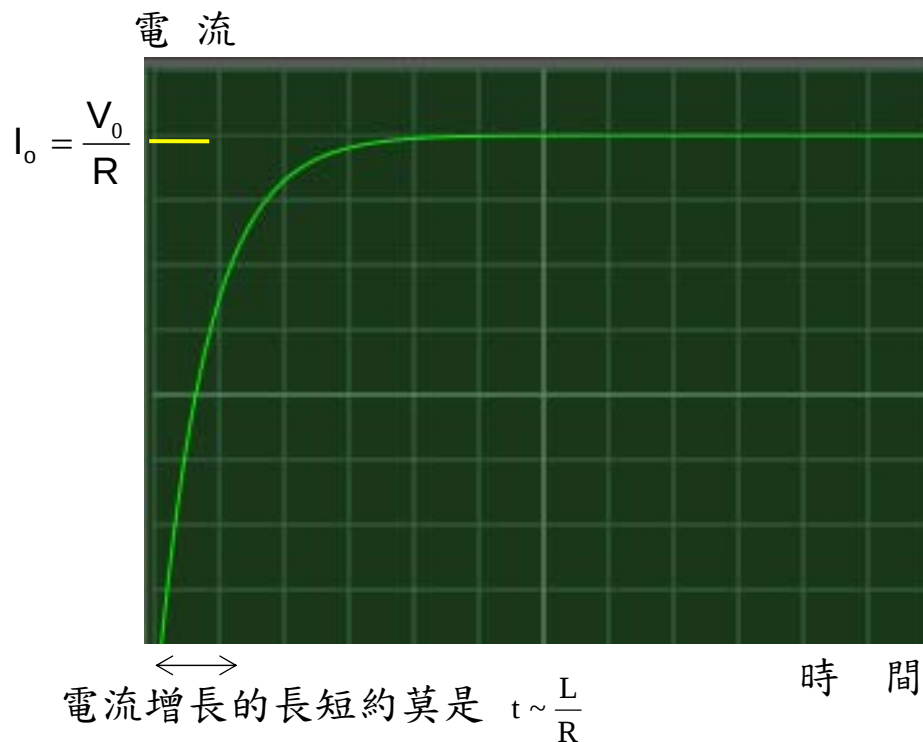
閉合開關後，電流不可以立即出現，這是電線的自感造成的效果。

重要一點是磁場本身也是能量的一種形式。

2. 一個直流電 RL 電路，當閉上開關，電流從零開始增長。電流增長公式是

$$I = I_0(1 - e^{-Rt/L}), \quad \text{其中 } I_0 = \frac{V_0}{R}, \text{ 是電流能增長至的最後}$$

穩定值。電流增長的長短約莫是時間常數 $t \sim \frac{L}{R}$ 。



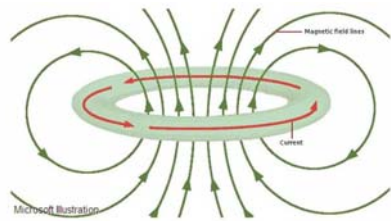
參考：<http://phy.hk/wiki/chinesehtm/RL.htm>

3. 儘管電路沒有接上線圈， L 也不會是零，但是非常微小。即是電流在很短時間就已達到穩定值 I_0 了。

4. 我們再從能量的角度去思考。在電流還在增長的時候，電池的功率去了兩個地方：(i) 電阻的發熱功率，(ii) 增加了的磁場能量（電流增加，磁場增強）。
5. 但當電流穩定了，磁場不再增強，所以那時電池的功率百份百只等於電阻的發熱功率。

回到本問題。若真的是 $R = 0$ ，那麼時間常數 $\frac{L}{R}$ 就是無限大！

(因為 L 無論多麼小，一定不會是零)。即是說，當我們閉上開關，電流不斷增加。能量轉移方面，隨著電流增大，電池的功率的確是越來越大，但 **不是去了電線的發熱，而是去了電流產生的磁場。**



電流產生磁場，磁場內儲有能量

吳老師 (Chiu-king Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數



Other Physics Applets