

電感器 (inductor) 的電壓究竟是

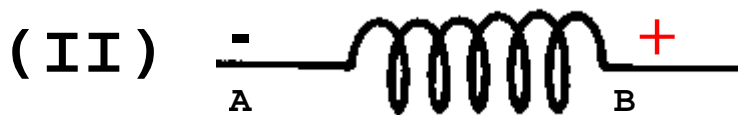
$$-L \frac{dI}{dt}, \text{ 還是 } L \frac{dI}{dt} ?$$

在電磁感應 (electromagnetic induction) 那章書說 L 的感生電動勢 (induced emf) 是 $\varepsilon = -L dI/dt$ 。但在稍後 RL 或 RLC 的電路中，L 的電壓就變成了 $V = L dI/dt$ 。這是甚麼一回事？

1. 無論是 ε 或 V ，都必須符合從楞次定律 (Lenz's law) 求得電感器 (inductor) 的正負極：



- 電流由 A 流向 B。
- 電流的大小隨時間增加。
- A 是正、B 是負。



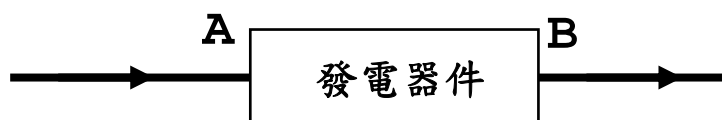
- 電流由 A 流向 B。
- 電流的大小隨時間減小。
- B 是正、A 是負。

2. $\varepsilon = -LdI/dt$ 和 $V = LdI/dt$ 都沒有問題。問題只是我們視電感器是一個甚麼的器件 (element)。

電感器的角色不像電阻那麼明確清晰。電阻不斷把電勢能 (electric potential energy) 轉化為內能 (internal energy)，是一件『用電』的東西。電感器有一半時間是把電勢能轉化為磁能 (magnetic energy)，是一件『用電』的東西；但亦有一半時間是把磁能轉回電勢能，是一件『發電』的東西。

3. 若把電感器視為如電池、發電機等的『發電』角色，那我們用的無疑就是 $\varepsilon = -LdI/dt$ ，說的是它的電動勢 (EMF)。

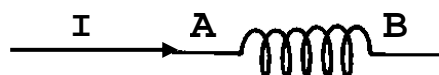
那時正、負就必須依循電動勢的法則。



上圖的電流由 A 流入發電器件，由 B 流出。電荷流經器件而獲得額外電勢能，所以 B 比 A 有更高的電勢，即是 B 是正、A 是負。

$\varepsilon = -LdI/dt$ 公式背後定正負的準則就是以上藍色的一段字。

試試看，



用“ $\varepsilon = -LdI/dt$ ”時，已預設了 A 端是負、B 端是正。

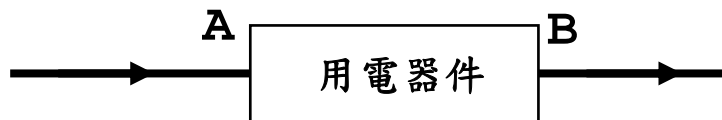
I 隨時間增加	$dI/dt > 0$	$\varepsilon < 0$	和預設相反，即是 A 正、B 負。
I 隨時間減小	$dI/dt < 0$	$\varepsilon > 0$	和預設相同，即是 A 負、B 正。

4. 若把電感器視為如電阻等的『用電』角色，那我們用的就應該是

$V = LdI/dt$ ，說的是它的電勢差 (p.d.)。[還記得電動勢

(EMF) 和電勢差 (pd) 的分別嗎？]

那時正、負就必須依循電勢差的法則。



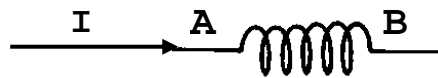
上圖的電流由 A 流入用電器件，由 B 流出。電荷流經器件而

消耗了部份電勢能，所以 B 比 A 有低些的電勢，即是 A 是正、

B 是負。

$V = LdI/dt$ 公式背後定正負的準則就是以上紅色的一段字。

試試看，



用“ $V = LdI/dt$ ”時，已預設了 A 端是正，B 端是負。

I 隨時間增加	$dI/dt > 0$	$V > 0$	和預設相同，即是 A 正、B 負。
I 隨時間減小	$dI/dt < 0$	$V < 0$	和預設相反，即是 A 負、B 正。

無論是用 $\varepsilon = -LdI/dt$ 或 $V = LdI/dt$ ，得到的結果都沒有不同。

5. 克希荷夫第二定律 (Kirchhoff's second law)的其中一個寫法是

$$\sum \text{emf}'s = \sum \text{p.d.}'s$$

即是在電路的任何一個閉合迴路中，把所有電動勢 (emf) 加起的值必等於電勢差(pd) 之和。

若把電感器 (inductor) 視為一電動勢源 (source of emf) ，那就

把它的 emf $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$ 放在公式的左方去。若然把它從左方

調到右方去，那個負號不見了。數學是這樣，其物理意義就是把它由一個 emf 改變成一個 pd。

6. 在電磁感應那章書，要突出電感器的『電磁感應』功用，所以用的必然是 $\varepsilon = -LdI/dt$ 。但到了 LR 或 LRC 電路，就要變成 $V = LdI/dt$ 。無他，只不過要『遷就』R 和 C 而已。R 和 C 說的是電勢差 p.d.，L 也要說電勢差 p.d.，那才可以

$$V_L + V_R + V_C = \text{電源的電動勢 emf}$$

7. 純電感器 (pure inductor) 在交流電 A.C. 的相差關係：

電壓 V 領先電流 I 90°

這是用 $V = LdI/dt$ 推出來的結果 (即是已預設了電流進入的那一端是正極)。

例 1：



$$\text{已知 } I = 2 \sin(10t) \text{ (A)}$$

$$V_L = 5 \sin(10t + \pi/2) \text{ (V)}$$

設電流如上圖所示的流動方向為正，問在

$$t = 0.3\text{s}、0.4\text{s}、0.5\text{s} \text{ 和 } 0.7\text{s}$$

時的電流的流動方向和電感器的那一端是正？

解答：

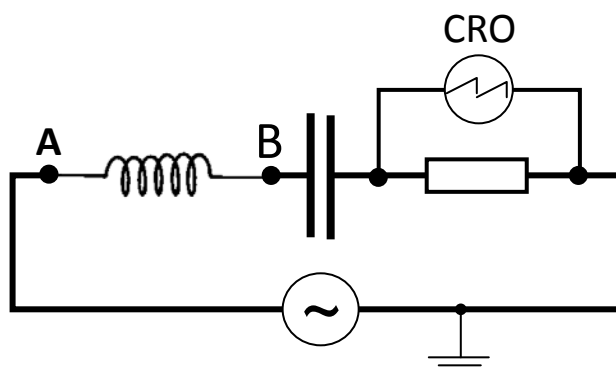


預設：電流 — A 至 B 為正

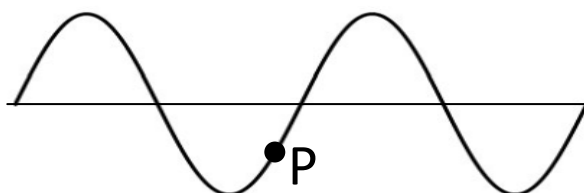
電壓 — A 端為正 (用了“pd”)。

時間 t/s	$I = 2 \sin(10t)$	$V_L = 5\sin(10t+\pi/2)$	電流方向 (預設 A 至 B 為正)	電壓 (預設 A 為正)
t = 0.3	I > 0	$V_L < 0$	由 A 至 B	B 是正
t = 0.4	I < 0	$V_L < 0$	由 B 至 A	B 是正
t = 0.5	I < 0	$V_L > 0$	由 B 至 A	A 是正
t = 0.7	I > 0	$V_L > 0$	由 A 至 B	A 是正

例 2：



上圖 RLC 交流電路，接駁在 R 兩端的示波器(CRO) 顯示以下圖形。問在圖形中標示為 P 的時刻，電流的方向為何及電感器兩端 (A 和 B) 中那端是處於高電位？



解答：

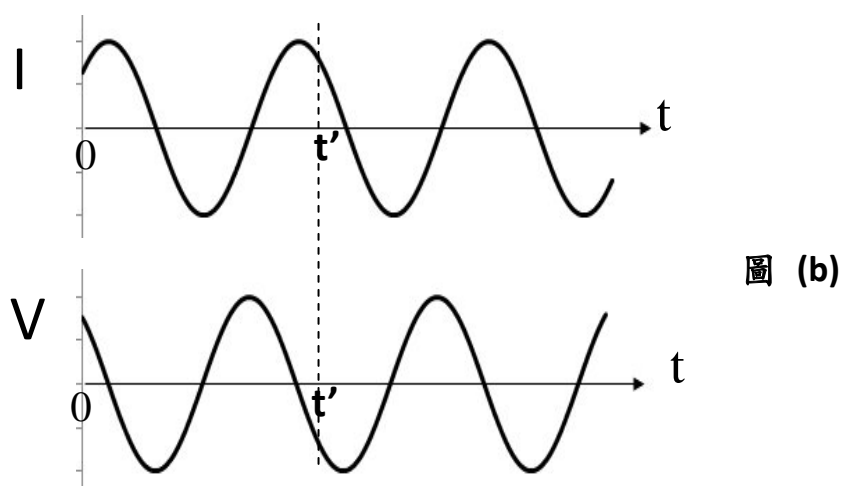
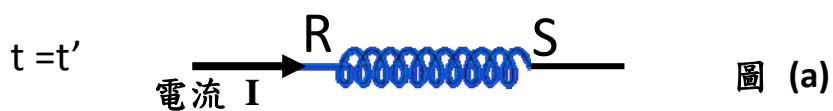
1. 電流與 V_R 同步，所以 $I-t$ 的圖像與 V_R-t (即 CRO 圖形) 相同。
2. LCR 的右端接地。所以預設了左端的電壓為正，亦即預設了電流是順時針。
3. 對 L 而言，預設了電流是 A 去 B 。如用 $v = LdI/dt$ ，亦即預設了 A 為正。
4. 在 P 時刻， $I < 0$ 及 $I-t$ 的斜率為正。
5. 因為 $I < 0$ ，所以 I 是與預設(順時針)相反，即是逆時針方向。
6. 因為 $LdI/dt > 0$ ，所以 V_L 與預設相同，即 A 為正。

用「物理概念」解：

- (i) 交流電源右端接地。所以預設了電流是順時針。
- (ii) 在時刻 P ，電流是負。所以在這時刻，電流是逆時針。
- (iii) 在時刻 P ，電流是逆時針，但其大小值 (即除去負號) 是在減退中。
- (iv) 根據楞次定律，由感生電動勢產生感生電流，再由感生電流在線圈內產生的磁場 (B') 必要減慢原磁場 (B) 的衰減 — 唯一的結果就是 B' 與 B 同方向；即是感生電流與原電流同方向；即是 L 這個發電器件的 A 端必就是感生電動勢的正極。

練習：

在時間 $t = t'$ ，一電流過電感，如圖 (a) 所示。該電感的電壓 V 和電流 I 隨時間變化在圖 (b) 顯示。問在 $t = t'$ ，電感的那端 (R 或 S) 是正？



答案在下頁

答：S 是正。

由圖(b) 可見，V 領先 I 90° ，所以當 I 在 $t = t'$ 時 [圖(a)] 的方向流入 L 時，其 R 端就預設了為正。但事實是在 $t = t'$ 時，V 為負，所以 R 端為負，S 端為正。

吳老師 (Chiu-king NG)

物理勿勿理 <http://ngsir.netfirms.com>