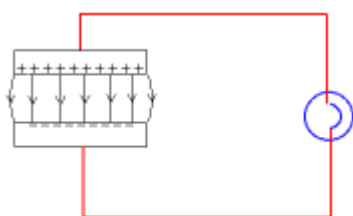


用一電池接駁一電線，電線出現電流。事情是這樣的，電池先在導內建立一電場 E (electric field)，導線內的自由電子受電場作用而產生力 ($F = qE$)，力產生加速，電子加速一段路程後，就把獲得的動能經碰撞傳遞給固定位置的離子。如是者，電子用一個很慢的漂移速度 (drift velocity) 循導線流動過去 (漂移速度約是 mm/s 或更小)，這就是電流。



一個平行板的電容充了電，一面帶正電荷、另一面帶負電荷。我們知道這塊平行板之間近中間位置有一均勻電場，近邊緣的電場不那麼均勻 (edge effect)。無論如何，在平行板外，在很遠離板邊緣的地方是沒有電場的 (尤其當兩板的距離很小)。我們亦知道，用一根電線把一個這樣的電容接上 (如左圖所示)，電流在電線出現。

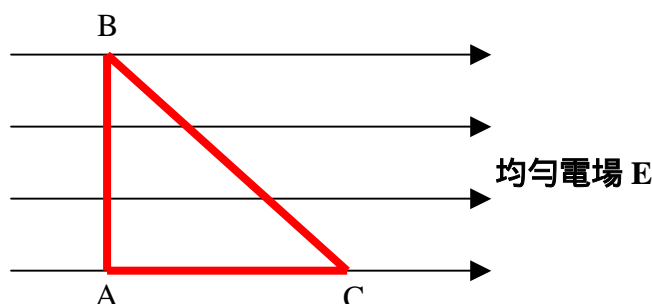
似乎電線的位置不存在電場 (可假設燈泡放在離電容很遠的地方)，但又可出現電流，這是甚麼一回事？

其實，在平行板外的電場是很弱，但絕不可以是零，除非平行板有無限大面積。這是電磁學中一條很重要的定律告訴我們的。

電磁學的 Maxwell equations，有一條是 $\text{curl} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$ ，

在沒有磁場的環境， $\text{curl} \vec{E} = 0$ 。它的積分形式是 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ 。 ” \oint ” 是表示在一條任意的封閉曲線上的積分。積甚麼分，那是電場沿這條曲線的分量的線積分。

現舉一簡單的例說明：



$$AB = AC = 10 \text{ cm}, BC = \sqrt{2} \text{ cm}, \angle BCA = 45^\circ$$

$$\oint_{ABCA} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{AB} \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_{BC} \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_{CA} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

在 A 至 B 段，電場與路徑垂直，所以 $\int_{AB} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$

在 B 至 C 段，電場與路徑的交角是 45° ，所以

$$\begin{aligned} & \int_{BC} \vec{E} \cdot d\vec{l} \\ &= \int_{BC} E \cos 45^\circ dl = E \cos 45^\circ \int_{BC} dl = E \cos 45^\circ (BC) = E \cos 45^\circ (\sqrt{2}) = 2E \end{aligned}$$

在 C 至 A 段，電場與路徑的交角是 180° ，所以

$$\begin{aligned} & \int_{CA} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \\ & \int_{CA} E \cos 180^\circ dl = E \cos 180^\circ \int_{CA} dl = E \cos 180^\circ (CA) = E \cos 180^\circ (2) = -2E \end{aligned}$$

所以

$$\oint_{ABCA} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0.$$

在沒有磁場，或磁場不隨時間改變，

無論是甚麼電場（均勻或不均勻），無論採用一條甚麼的封閉曲線，

$$\boxed{\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0}$$

這物理定律對中學同學來說，當然不易明白。但同學若已學電磁感應，都知道法拉第

感應定律。其實 $\text{curl} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$ 就是法拉第感應定律 (Faraday's law of induction)

的微分表達形式。

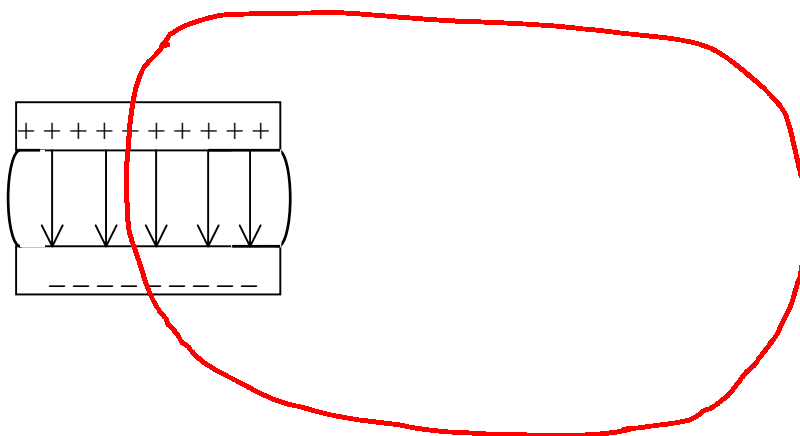
在任何一條封閉的曲線內沒有磁場，在曲線上不會有感應電動勢 (induced emf) 。沒有(總)感應電動勢，亦即是 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ 的意思。

在以下的電容採用紅色的路徑順時針行一圈。

路徑有兩部份：一部份在電容內，一部份在電容外。

電容內有電場，所以在這裡電場的線積分不會是零。外面的積分如何？

因為整個路徑的電場線積分必須是零，所以電容外的積分和電容內的積分必定是相同而相反。



即是說，電容外的電場雖然很弱，但不是零。離電容遠些，電場更弱些，但路徑也長些，一消一長，積分的值不受影響。

即是說，雖然電線是接在電容外，電線內仍然可以建立起電場，電流亦是因這樣而出現。

補充一點，若平行板的面積無限大，那的確電場在板外是零。但這時要劃一個像上圖的封閉路徑，那就必定跨越平行板的中間部份兩次。