

电工学讀本

苏联 B. E. 基塔耶夫等著

電力工業出版社

本書根据苏联非电工业的技工学校和铁道学校的教学大纲编写成。书中包括电工业概论及变压器、感应电动机、交流发电机、直流电机、整流器和电器等构造的概述。

本書可以用做非电工业的技工学校和铁道学校学生的教材。

書中第二、六、七章为技术科学硕士 В. Е. 基塔耶夫所著，四、五、八、九等章为工程师 В. К. 彼特罗夫所著，一、三、十、十一章为 Л. С. 斯良宾托赫所著。

对本书的意见请寄到莫斯科霍洛夫斯基街七号劳动后备出版社。

В. Е. КИТАЕВ В. К. ПЕТРОВ Л. С. ШЛЯПИНТОХ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

根据苏联劳动后备出版社 1955 年莫斯科版翻译

电 工 学 讀 本

田德志 姚学铭译

407 D 153

电力工业出版社出版(北京府右街 26 号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第 082 号

北京市印刷一厂印刷 新华书店发行

编辑：陈惟清 校对：田德贤

787×1092 1/32 开本 * 9 1/4 印张 * 172 千字 * 定价(第 9 类) 1.10 元

1956 年 8 月北京第 1 版

1956 年 8 月北京第 1 次印刷(1—30,100 册)

目 錄

引言	3
第一章 概 論	8
第 1 節 物質結構的电子理論概述	8
第 2 節 電場 • 電位	11
第 3 節 電場強度	13
第 4 節 電流的概念	14
第 5 節 導體和絕緣體	15
第 6 節 電容 • 電容器	16
復 習 題	20
第二章 直流電	21
第 1 節 直流電路	21
第 2 節 電阻	22
第 3 節 電阻的串聯	26
第 4 節 電阻的並聯和混聯	27
第 5 節 歐姆定律	31
第 6 節 克希荷夫定律	33
第 7 節 電流的化學效應	46
第 8 節 迦伐尼電池	48
第 9 節 蓄電池	54
第 10 節 電流的功及功率	61
第 11 節 楞次-焦耳定律	64
第 12 節 載流導體的加熱	66
復 習 題	68
第三章 電磁及電磁感應	70
第 1 節 磁極的相互作用	70

第 2 節	磁場	71
第 3 節	磁的概念及磁化过程	73
第 4 節	电磁鉄、电磁测量仪表	73
第 5 節	电流和磁場的相互作用、磁感应强度	79
第 6 節	磁通	83
第 7 節	电磁感应、发电机的作用原理	84
第 8 節	自感、渦流、互感	87
	复 習 題	95
第四章	單相交交流电	96
第 1 節	交变电流的產生	96
第 2 節	正弦波形电动势	100
第 3 節	周期和頻率	101
第 4 節	电流和电压的有效值	102
第 5 節	相角差	103
第 6 節	交流电路中的有效电阻	105
第 7 節	交流电路中的感抗	107
第 8 節	交流电路中的有效电阻和感抗	110
第 9 節	交流电路中的电容	112
第 10 節	交流电功率	114
	習 題	117
	复 習 題	118
第五章	三相交流电	119
第 1 節	三相制的形成	119
第 2 節	星形联接	121
第 3 節	三角形联接	126
	習 題	129
	复 習 題	130
第六章	变压器	130
第 1 節	变压器的概述	130
第 2 節	变压器的作用原理和構造	132

第 3 節	变压器的空載	134
第 4 節	变压器的工作状态	136
第 5 節	三相变压器	139
第 6 節	自耦变压器	140
	复 習 題	142
第七章	感应电动机	143
第 1 節	感应电动机的構造及作用原理	143
第 2 節	旋轉磁場	146
第 3 節	感应电动机帶負載工作	150
第 4 節	感应电动机的起動	153
第 5 節	感应电动机轉速的調節	156
	复 習 題	159
第八章	交流發电机	160
第 1 節	構造原理	160
第 2 節	具有旋轉感应子的發电机	161
第 3 節	交流發电机繞組的概念	168
第 4 節	發电机帶負載运行及电压的調節	168
	复 習 題	170
第九章	直流电机	170
第 1 節	概述	170
第 2 節	直流电机的作用原理	172
第 3 節	电樞繞組的制作	175
第 4 節	發电机的电樞反应	176
第 5 節	發电机的电动势和电机的类型	178
第 6 節	直流电机的轉矩和功率	180
第 7 節	他激式發电机	181
第 8 節	並激式發电机	182
第 9 節	串激式發电机	185
第 10 節	复激式發电机	186
第 11 節	直流电动机概述	187

第 12 節	並激式电动机	190
第 13 節	串激式电动机	191
第 14 節	復激式电动机	193
第 15 節	直流电机中的損失	194
	复 習 題	195

第十章 整流器 196

第 1 節	电动發电机	196
第 2 節	氧化銅整流器	197
第 3 節	硒整流器	198
第 4 節	整流綫路圖	200
第 5 節	电子管整流器	203
第 6 節	水銀整流器	206
	复 習 題	210

第十一章 电 器 210

第 1 節	开关	211
第 2 節	閘刀开关	212
第 3 節	換接器	213
第 4 節	保險器	213
第 5 節	自动开关	216
第 6 節	变阻器	217
第 7 節	接触器	222
第 8 節	磁力起动器	223
第 9 節	机器自动作業綫的概念	224
	复 習 題	226

附錄 228

引 言

电工学是一門在技術上应用电气現象的科学。它确定电能產生、輸送、分配及變換的規律。

俄國和苏联的学者及發明家們在电工学的發展上起了顯著的作用。

偉大的俄國学者 M. B. 罗蒙諾索夫開創大气电的研究工作，發明了避雷器，並与 Г. B. 里赫曼院士共同制成了世界上第一个电气測量仪表——靜电計。

B. B. 彼特洛夫院士在研究真空放电方面付出了巨大的劳动，獲得了电弧，並研究出电流对金屬及液体的作用。

俄國学者 Э. X. 楞次發明了电流的热效应定律，並对电磁現象作了深入的研究，他是电磁理論的奠基人之一。

俄國学者及發明家 B. C. 雅柯比發明了直流电机，並將它用于实际。他又是电镀法的發明者。

A. H. 罗得根首先發明了白熾灯，П. H. 亞布洛奇可夫首先發明了电燭及單相变压器。

亞布洛奇可夫及罗得根的發明，对电工学的長足發展及其实应用有巨大的貢獻。

傑出的俄國工程師-發明家 M. O. 多里沃-多勃罗沃里斯基發明了三相感应电动机、三相發电机及三相变压器。他又研究出三相輸电的基本問題。俄國的發明家 H. H. 別那尔道斯及 H. Г. 斯拉維諾夫实际利用电弧來熔焊和切割金屬。

無綫电的發明，也是偉大的俄國学者 A. C. 波波夫的功績。

傑出的苏联学者 С. И. 瓦維罗夫(日光灯的發明者)及 B. П.

沃罗格金(使用金屬高頻加热的創始人)以及其他的許多學者們在發展電工學方面都作出重大的貢獻。

В. И. 列寧非常重視電氣化事業，他說：“共產主義就是蘇維埃政權加上全國電氣化”^①。

在列寧的倡議下，俄羅斯國家電氣化委員會(ГОЭЛРО)於1920年擬定了電氣化計劃，該計劃由第八次全俄蘇維埃代表大會批准。在幾個五年計劃期間，該計劃已超額完成。蘇聯已成為一個電氣化國家。

電工學之所以能在國民經濟中起着巨大的作用，是因為電能很容易轉變成另一種能量，並能遠距離輸送；利用電氣設備可以使生產過程自動化，把人們從笨重的體力勞動中解放出來。

電能的主要來源是電機，即安裝在發電廠內的發電機。

在火力發電廠中在鍋爐內燃燒石油、煤、泥煤等取得汽能來轉動發電機；在水力發電廠中則利用水力來使發電機旋轉。

在第一種情況下，蒸汽進入汽輪機；第二種情況下，水進入水輪機。汽輪機(或水輪機)及發電機常是共用一軸，蒸汽或水旋轉汽輪機(或水輪機)時，同時旋轉發電機，發電機便將蒸汽或水的機械能變為電能。發電廠所產生的電能在變電所中由低壓變為高壓，並沿架空輸電綫路或電纜綫路輸送給遠方的用戶。然後高壓電流又在變電所中變為低壓電流。電流從變電所沿架空綫路和電纜綫路送入工廠的車間、城市和鄉村的房舍，作為電動機、照明設備、電熱用具及其他器具之電源。

在黨第十九次代表大會上規定了有關電氣化的重大任務。

蘇聯第五個五年發展計劃(1951—1955年)中指出：

“在電氣化方面，保證迅速增加發電廠的容量，以便更充分地滿足國民經濟日益增長的電力需要和居民生活對電力的需要，並增加動力系統中的備用容量。

①列寧全集第31卷第484頁。

在五年期間，使發電廠的總容量大約增加為兩倍，水力發電廠的容量大約增加為三倍。使用巨大的水力發電廠，其中包括發電容量為二百一十萬瓩的古比雪夫水力發電廠，以及總發電容量為一百九十一萬六千瓩的卡馬、高爾基、明基卡烏爾、烏斯特-卡緬諾戈爾斯克及其他水力發電廠，建成並使用古比雪夫——莫斯科輸電綫路。

展開斯大林格勒、卡霍夫卡和諾沃西比爾斯克水力發電廠的建設工作，開始建設新的巨大的水力發電廠：伏爾加河上的契鮑克薩利水力發電廠，卡馬河上的沃特金斯克水力發電廠，伊爾提施河上的布克塔馬水力發電廠以及其他等等。

開始進行利用安加拉河的动力資源的工作……。

為了認真地改善南部地區、烏拉爾和庫茲巴斯的電力供應，必須保證大大增加這些地區中區域的和工廠的火力發電廠的容量。為了保證對各城市和各區的電力供應，除了建立大型的發電廠以外，還要建立小型和中型的發電廠。

保證建立熱電中心廠和熱力網，以便廣泛供應各城市 and 工業企業以熱力。

在發電廠中生產過程廣泛採用自動化。完成區域水力發電廠完全自動化的工作，並在動力系統中開始實行遠距離操縱”。

這個計劃正在順利地執行着。以最新的技術裝備起來的大型水力發電廠（齊姆良斯克、明基卡烏爾、卡姆斯卡等等）及火力發電廠（庫茲巴斯、斯拉維斯克、米羅諾夫斯克等等）已投入運行。伏爾加河上的古比雪夫及斯大林格勒以及西伯利亞河流上的許多巨大發電廠正在建設着。古比雪夫、高爾基、卡霍夫卡發電廠，以及其他許多發電廠在今年即可供給工業用電。

世界上第一個利用原子能發電的工業發電廠（有效功率為五千瓩）已在蘇聯於1954年投入運行。目前正在建築容量為五萬及十萬瓩的原子能發電廠。

第一章 概 論

第 1 節 物質結構的电子理論概述

所有物質，不論是簡單的或複雜的，均由許多分子構成，而分子又由許多原子構成。原子又包含許多更小的微粒——电子、質子、中子及其他。像銅、鋁、鋅、鉛等一類的簡單物質是由該物質同一元素的原子構成，而複雜物質的分子却是由組成該物質的各元素的原子構成。氯化鈉(食鹽)分子是由氣體氯原子和金屬鈉原子構成。

分子和原子的體積是非常小的。它們的測量單位比微米小許多倍。這些單位就叫做毫微米和埃^①。

$$1 \text{ 微米} = \frac{1}{1000} \text{ 毫米};$$

$$1 \text{ 毫微米} = \frac{1}{1000} \text{ 微米};$$

$$1 \text{ 埃} = \frac{1}{10} \text{ 毫微米}.$$

原子的电子、質子和其他微粒的大小是用埃的十萬分之幾來測量的。

每一原子有由質子和中子組成的原子核。原子核的四周有形成原子电子殼層的电子在不間斷的運動。在平常的狀態下，物質原子中所包含的質子和中子的數目相等。

每一电子均帶負電荷，質子帶正電荷，中子不帶電。

^①應該記住，在米-千克-秒單位制中基本的長度單位是米，而其餘的長度單位都是派生的。

电子和質子的电荷数量相同，而电子的重量大約为質子重量的1840分之一。現在我們來研究若干元素的原子結構，作为例子。

鈉原子結構圖(圖1)可看作是一圓核，核內有十一个質子和同样数目的中子，核的四周有十一个电子，作三層分佈。第一層有兩個电子，第二層有八个电子，离原子核最远的第三層有一个电子。

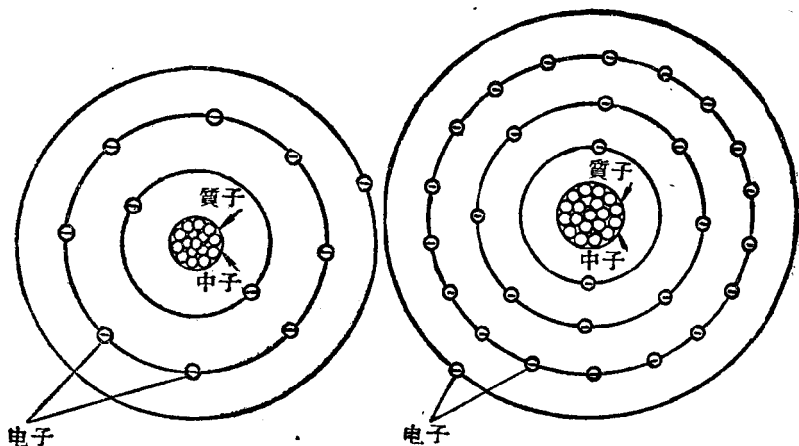


圖 1 鈉原子結構圖

圖 2 銅原子結構圖

銅原子(圖2)有二十九个电子和同样数目的質子和中子。銅原子的电子分四層分佈在原子核的周圍。在第一層有兩個电子，第二層有八个电子，第三層有十八个电子，离原子核最远的第四層有一个电子。

电荷的相互作用 电荷相互作用着。

这种相互作用是同性电荷相斥，异性电荷相吸。数量相等的質子的正电荷与电子的负电荷相互中和。因此，在平常状态下整个原子和物質不呈现电性。

电荷的相互作用力用庫倫定律來确定。

根据此定律，兩电荷的相互作用力与兩电荷电量的乘積成正。

比，与兩电荷之間距离的平方成反比。

設电荷相互作用力的符号为字母 F ，每一电荷的电量为 q_1 和 q_2 ，兩电荷之間的距离为 R ，就得出以下的公式：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{R^2}.$$

式中 常数 $\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}$ 是代表电荷所处空間的介質的电性值(簡称为介电常数——譯者註)。由庫倫定律的定义得出：大电荷的相互作用比小电荷要强；兩电荷的距离愈大，相互作用力愈弱。

譬如，兩电荷的距离增大至三倍，則兩者的相互作用力減为九分之一。

电荷之間的距离減小，其相互作用力即相应地增大。

物体帶电 大家都知道，电子距离原子核各有远近。因此，根据庫倫定律，距原子核最近的电子电荷与質子电荷的相互作用力比距原子核最远的电子与原子核的相互作用力要强得多。

假如有一个或若干个与原子核联系較弱的帶負电荷的电子“脱离”某一物質的原子，那么該物質即帶正电。

反之，假如某物体的原子中电子数目多於質子数目，那么此物体即帶負电。

譬如利用摩擦就可以使各种硬性物質的原子中的电子数目改变(圖 3)。

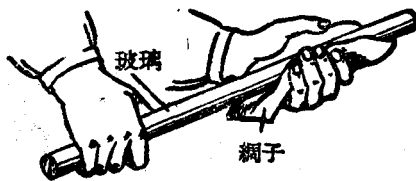


圖 3 物体摩擦可以帶电

电子的綢子就帶負电荷(圖 4)。

用綢子摩擦玻璃棒，玻璃和綢就帶不同符号的电荷。玻璃原子的部分电子轉入綢子的原子中，因此，失去电子的玻璃就帶正电荷；相反地，有富余

用毛皮摩擦硬橡膠棒，毛皮原子的若干电子就轉入硬橡膠的原子中。夺得这些电子的硬橡膠就帶負电。

电荷可以从一物体傳給另一物体。假若用帶电荷的棒接触驗电器的小球(圖 5)，我們就可以看到驗电器兩叶片張开。这就表示固定在驗电器桿上的小球和叶片均帶同性的电。

根据驗电器兩叶片張开角度的大小，可判断傳遞給小球的电荷数量。

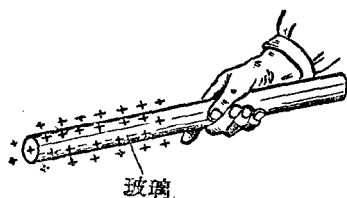


圖 4 玻璃和綢子各帶不同性的电

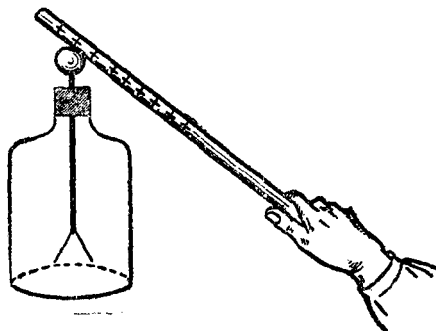


圖 5 帶电的棒向驗电器傳遞电荷

第 2 節 电場·电位

受某种力作用的空間即可称为此种力的作用場。引用这个概念來理解电場是十分恰当的，电場就是呈現电荷相互作用机械力的空間。

电場用假定的电力綫來表示。圖 6 中画出正电荷和負电荷的电場。兩电量相同而符号相反的电荷所形成的电場的电力綫如圖 7 所示。

电力綫上的箭头表示電場的机械力对位於電場中正电荷的作用方向。在電場力的作用下可以使电荷發生位移，此时，電場作用力將做功。因此，電場中每一点都有儲存的位能。这种位能变换为电荷位移所做的功。形成電場的电荷愈大，此位能，或称电位也就愈大。

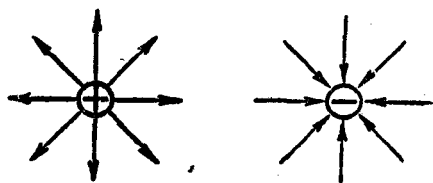


圖 6 正电荷和負电荷的電場

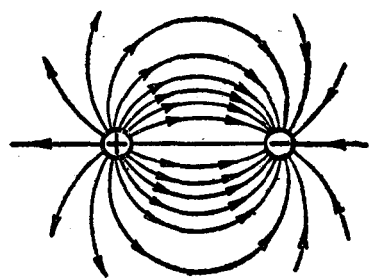


圖 7 異性电荷的電場

那么該点的电位即等於一伏特。

电位用字母 U 表示。

非常明顯，电荷在電場中由 A 点移至 B 点时 (A 点的电位为 U_A ， B 点的电位为 U_B)，電場力所做的功將等於兩位能之差；此兩位能即該电荷在移动路程的始点和終点，也就是 A 点和 B 点所具有的电位。

因此，电荷 A 所做的功可用以下公式表示：

$$A = (U_A - U_B) \cdot q.$$

兩电位之差通常称为电压，並用同样的字母 U 表示。

不难理解，电压是表示一庫倫电量的电荷在電場力的作用下在此段位移上所做的功(以焦耳計)。

譬如，兩点之間的电压等於 120 伏，那么一庫倫电量在此兩点間位移时所做的功即为 120 焦耳。

第 3 節 電場強度

電場中的任一點均用電場強度來表示。電場對在其作用範圍內的電荷之作用力愈大，電場的強度也愈大。

電場內各點的強度可能不同。電場強度是電場對在其作用範圍內電荷的作用力 F 與此電荷電量 Q 之比值。

$$\text{因而，電場強度} \quad E = \frac{F}{Q} \quad (1)$$

式中 F ——電場對電荷的作用力，以牛頓計^①；

Q ——電荷電量，以庫倫計；

E ——電場強度，以 $\frac{\text{牛頓}}{\text{庫倫}}$ 計。

電場作用力的功以焦耳計，等於作用力和位移長度的乘積。

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 牛頓} \cdot 1 \text{ 公尺}$$

$$\text{由此公式得出} \quad 1 \text{ 牛頓} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 公尺}}$$

將電場作用力 F 公式代入公式(1)，即得：

$$E = \frac{\text{焦耳}}{\text{公尺} \cdot \text{庫倫}} \quad (2)$$

$\frac{\text{焦耳}}{\text{庫倫}}$ 值在電工學上即稱為伏特。

因此，將公式(2)中 $\frac{\text{焦耳}}{\text{庫倫}}$ 值以伏特代，即得電場強度的測量單位 $\frac{\text{伏特}}{\text{公尺}}$ 。

我們來舉例計算一下，一電場對試驗電荷($Q=0.002K$)作用力為 $F_1=0.5$ 牛頓，另一電場作用力 $F_2=0.3$ 牛頓，求此兩電場的電場強度。大家都知道，電場強度 $E = \frac{F}{Q}$ 。因此，第一電場強度 $E_1 = \frac{F_1}{Q} = \frac{0.5}{0.002} = 250$ 伏特/公尺；而第二電場強度

① 1 牛頓 = 1 $\frac{\text{伏特} \cdot \text{庫倫}}{\text{公尺}}$

$$E_2 = \frac{F_2}{Q} = \frac{0.3}{0.002} = 150 \text{ 伏特/公尺。}$$

第 4 節 电流的概念

上面已講过，原子中的电子距原子核各有远近，因此，原子核的电場对电子的作用力也各不相同。

金屬中每一原子核的周圍都有一个或若干个与其联系較弱的电子。这类电子的一部分脱离自己的原子核，处于不規則运动的状态中。这种电子通常叫做自由电子。

在电場力的作用下可使这些自由电子作有規則的移动，强使它們在一定的方向上运动。

自由电子在一定方向上的运动就叫做电流^①。

为了闡明这一問題，可作以下的实验：使兩驗电器各帶不同性的电荷，並使它們的兩叶片張开的角度相等(圖 8)。

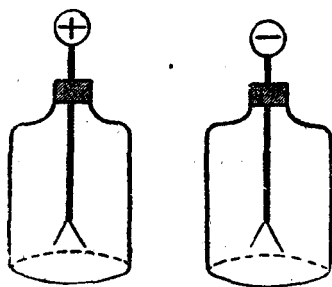


圖 8 帶电的驗电器

用一有玻璃握柄的金屬导体將此二驗电器的小球連接起來，我們就可發現兩驗电器的叶片均落下(圖 9)。这就是說，兩驗电器上的电荷在用金屬棒將它們联接时消失了。

这种現象的原因如下：大家都知道，金屬原子中有自由电子。在金屬棒上也有很大数量的自由电子。用金屬棒联接兩驗电器时，在棒上的自由电子就受兩球电荷的电場作用。

小球的負电荷推斥棒上的自由电子，而小球上的正电荷則吸引它們。

在电場力的作用下电子向一定方向移动：从負电荷到正电

①这个电流定义僅適用於硬性(金屬)导体。

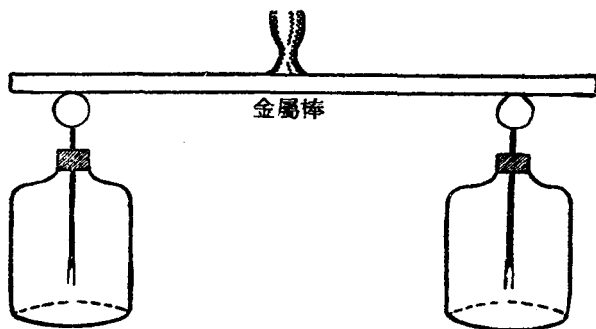


圖 9 联接兩驗电器的金屬棒上有电流流过

荷。通常公認电流流动的方向与电子运动的方向相反。

在導體上电子的移动，即电流的行進一直繼續到兩球上的电子和質子数量相等时为止，亦即它們不帶电为止。由此实验可看出，电子在一定方向上运动，即电流是在金屬棒兩端电位不等的条件下產生的，也就是在棒的一端电子过多，而另一端电子缺少的情況下產生的。

第 5 節 導體和絕緣体

电子在一定方向上移动和發生电流現象並不是在所有物質中都能產生的。譬如用橡膠、陶瓷或大理石棒來連接兩帶異性电荷的驗电器的小球(圖10)时，則电荷仍保持在兩小球上，驗电器叶片不落下。这是因为在这些物質(例如陶瓷、橡膠或大理石)中几乎沒有自由电子，所有的电子都与原子核很牢固地联系着。因此，电荷的电場就不能使电子在一定方向上移动，也就沒有电流通过这种物質。因而，某些物質是導體^①，而另一些物質則是非導體——絕緣体或电介質。

①目前已得知某些物質(鎂、硒、矽等)是半導體，它們具有介於導體与絕緣体之間的性質。