

电工学与电工测量

B. M. 沙 丰 諾 夫 著
龙 贊 易 龔 紹 胜 譯
章 燕 翼 校

人民郵電出版社

В. М. САФОНОВ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ
СВЯЗЬИЗДАТ 1955

內 容 提 要

書中对电工学的物理基础和直流与交流的理論, 以及电气测量的知識都有着较为詳尽的介紹, 并附有大量的例題和解答。

經中华人民共和国邮电部干部司审閱后, 同意本書可采用作为邮电函授中等專業学校的教材。

电 工 学 与 电 工 測 量

著 者: В. М. 沙 丰 諾 夫
譯 者: 龙 贊 易 龔 紹 胜
校 者: 章 燕 翼
出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条13号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第048号)

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 厂
發行者: 新 华 書 店

开本 850×1168 1/32	1958年9月北京第一版
印张15 1/2 頁数246	1958年9月北京第一次印刷
印刷字数414,000字	統一書号: 15045·总789—有159
印数1—3,700册	定价: (10)2.05元

譯 者 序

本書系根据苏联邮电出版社(Связьиздат)1955年出版的В.М.沙丰諾夫所著“电工学和电气測量”(Электротехника и электрические измерения)一書譯出的。原書是苏联邮电部全苏邮电函授学校采用的教材。

原書是根据苏联邮电部学校管理总局审定的邮电中等專業学校电信各專業适用“电工学和电气測量”教学大綱而編写的，故能适应电信方面的特殊需要和教学上的要求；同时本書也还体现了函授教育的特点，适合于自学之用。因此，其中譯本可作有关中等技术学校和同类函授学校的教材及供一般自学者参考。

書中对电工学的物理基础和直流与交流的理論，以及电气測量的知識都有着較為詳尽的介紹，并附有大量的例題和解答。所有要求讀者掌握的重点內容均指定有一定数量的習題，而且提出了必要的自学复習題，以利教学需要。

本書的序言、緒論及第一、二、四、五、六、七諸章由龙贊易同志翻譯，第三、八兩章由龔紹胜同志翻譯，校閱工作由章燕翼同志担任。

經中华人民共和国邮电部干部司审閱中譯本后，同意本書在邮电函授中等專業学校中采用作为教材。

譯 者

序 言

苏联共产党和政府非常注意我們祖国的电气化事業。通过几个五年計劃的胜利完成，保证了电气工业与国民經济电气化以及电工方面的科学研究工作的巨大發展。

第十九次党代表大会关于 1951—1955 年發展苏联的第五个五年計劃的指示規定：为了更加充分地滿足国民經济發展的要求、人民生活用电方面的需要以及动力系统后备力量的扩充，要进一步高速度地扩大发电站的容量。五年內，发电站的总容量大約要增加一倍，而水力发电站則增加兩倍。

发电站容量的这种增長速度，就有可能除保证其他国民經济部門的發展以外，同时也保证了通信工具的順利發展。

第十九次党代表大会的指示規定了要大量發展通信設備，長途电报电话電纜的長度至少要增加一倍，大大地增强广播电台的功率，运用超短波無線电广播和無線电接力通信，扩大市内电话局的容量30—35%。

通信設備的發展就需要电信專業职工具有較深的無線电工、有綫通信理論及其他專業課程的知識，所有这些都不能沒有电工学的基础。

这本教材是根据苏联邮电部学校管理总局批准的邮电中等技术学校“电工学与电工測量”教学大綱写出的。

在这本教材的每一节的前面，都指出了必須解答的習題，这些習題是从 Н. С. 左洛圖欣与 С. И. 波列欣所編写的“电工学与电工測量習題集”（苏联邮电出版社，1949 年）中选出的。在本教材內，为了簡明起見，把 Н. С. 左洛圖欣和 С. И. 波列欣的習題集就簡称为“習題集”。

在电工学中，为了表明各种电气量起見，往往要采用拉丁文字母和希腊文字母。因此，下面特列举出拉丁文和希腊文字母表及各种主要电气量的文字符号表。

所有对本教材的意見請送全苏邮电函授学校（Москва, Чистопрудный бульвар, 2）。

拉丁文字母表

印 刷 字 体	書 写 字 体	名 称①	印 刷 字 体	書 写 字 体	名 称①
A a	<i>Aa</i>	<i>a</i> (阿)	N n	<i>Nn</i>	<i>эн</i> (恩)
B b	<i>Bb</i>	<i>бэ</i> (拜)	O o	<i>Oo</i>	<i>о</i> (俄)
C c	<i>Cc</i>	<i>үэ</i> (測)	P p	<i>Pp</i>	<i>пэ</i> (派)
D d	<i>Dd</i>	<i>дэ</i> (德)	Q q	<i>Qq</i>	<i>кү</i> (庫)
E e	<i>Ee</i>	<i>э</i> (厄)	R r	<i>Rr</i>	<i>эр</i> (厄尔)
F f	<i>Ff</i>	<i>эф</i> (厄弗)	S s	<i>Ss</i>	<i>эс</i> (厄斯)
G g	<i>Gg</i>	<i>гэ</i> (格)	T t	<i>Tt</i>	<i>тэ</i> (特)
H h	<i>Hh</i>	<i>ау</i> (阿什)	U u	<i>Uu</i>	<i>у</i> (烏)
I i	<i>Ii</i>	<i>и</i> (依)	V v	<i>Vv</i>	<i>вэ</i> (維)
J j	<i>Jj</i>	<i>ям</i> (約特)	W w	<i>Ww</i>	<i>дубль ээ</i> (杜布勒維)
K k	<i>Kk</i>	<i>ка</i> (卡)	X x	<i>Xx</i>	<i>кс</i> (依克斯)
L l	<i>Ll</i>	<i>лэ</i> (厄勒)	Y y	<i>Yy</i>	<i>улек</i> (依格列克)
M m	<i>Mm</i>	<i>эм</i> (厄姆)	Z z	<i>Zz</i>	<i>эм</i> (澤特)

① 如讀者已習慣英文字母讀音時，亦可按英文讀法，

希臘文字母表

印 字	刷 体	書 字	寫 体	名 称①	印 字	刷 体	書 字	寫 体	名 称
A α		Αα		αλφα (阿尔法)	N ν		Νν		νι(紐) [尼(紐)]
B β β		Ββ		βετα (比塔)	Ξ ξ		Ξξ		ιξι (克塞)
Γ γ		Γγ		γάμμα (伽馬)	Ο ο		Οο		ομικρον (俄密克戎)
Δ δ		Δδ		δελτα (德耳塔)	Π π		Ππ		πι (珀)
E ε		Εε		επειλον (厄普西隆)	Ρ ρ		Ρρ		ρο (罗)
Z ζ		Ζζ		ζετα (仄塔)	Σ σ σ		Σσς		σιγμα (西格馬)
H η		Ηη		ητα (厄塔)	Τ τ		Ττ		ταυ (陶)
Θ θ θ		Θθ		θэта (志塔)	Υ υ		Υυ		υπειλον (依普西隆)
I ι		Ιι		ϊοτα (爱俄塔)	Φ φ		Φφ		φι (斐)
K κ		Κκ		καппα (卡帕)	Χ χ		Χχ		χι (克黑)
Λ λ		Λλ		λαμβδα (蘭達)	Ψ ψ		Ψψ		ψι (普塞)
M μ		Μμ		μι(μιο) [米(繆)]	Ω ω		Ωω		ομεγα (俄墨伽)

主要电气量的文字符号表

名 称	符 号		附 註
	主要的	备用的	
磁化率	χ (хи)	κ (каппа)	—
电极化率	κ (каппа)	—	—
电容	C	—	—
电子电荷	e	q	—
电感; 自感系数	L	—	—
互感; 互感系数	M	L_{ij}, k	i, k —現用数字
磁感应强度	B	—	—
电量; 电荷	$Q; q$	—	—
衰减系数	δ	—	—
衰减常数	β	—	—
漏磁系数	σ	—	—
傳播常数	γ	—	$\gamma = \beta + ia$
耦合系数	k	—	—
相位常数(相变常数, 相移常数)	a	—	—
电阻溫度系数	α	—	—
磁矩	M	—	—
有功功率	P	P_a	—
畸变功率	T	P_u, P_d	—
視在功率	S	P_h, P_i	—
瞬时功率	p	—	—

續表

名 称	符 号		附 註
	主要的	备用的	
無功功率	Q	P_p, P_r	—
磁化强度	J	—	—
磁压	U	—	—
电压	U, u	e	—
电场强度	E	—	—
电流密度	δ	j	—
綫电荷密度	τ	—	—
表面电荷密度	O	—	—
体积电荷密度	ρ	—	—
电極化强度	P	—	—
矢位	A	—	—
标位	φ	—	—
磁通量	Φ	—	—
电位移通量; 电感应通量	Ψ	N, Q	—
磁通匝連数	Ψ	—	—
电导	g	—	—
磁导	G	Λ	—
导納	Y	—	—
电納	b	—	—
电导率	γ	—	$\gamma = \frac{1}{\rho}$

續表

名 称	符 号		附 註
	主要的	备用的	
导納的复数形式	Y	—	$Y = g - ib$
电容率(介电常数)	ϵ	—	—
磁导率	μ	—	—
电压及电流的相差	φ	—	—
磁化力(磁通势)	F	—	—
电动势	E, e	—	—
电位移(电感应)	D	—	—
电阻	r	—	—
特性阻抗(波阻抗)	Z_B, Z_C	—	—
磁阻	R	—	—
阻抗	z	—	—
电抗	x	—	—
电阻率	ρ	—	$\rho = \frac{1}{\gamma}$
阻抗的复数形式	z	—	$Z = r + ix$
电流	I, i	—	—
介質損失角	δ	—	—
初相	φ	$\alpha, \beta \dots$	—
頻率	f	ν	—
角頻率	ω	—	—
繞組的匝数	w	n	—
多相制的相数	m	—	—

某些常用技术量的符号表

名 称	符 号		附 註
	主要的	备用的	
重量	G	P	—
比重	γ	—	—
時間	t	τ	—
压力	P	—	—
波長	λ	—	—
效率	η	—	—
散热系数	α	—	—
导热系数	k	—	—
質量	m	—	—
轉动慣量	j	I	—
力矩	M	—	—
週期	T	—	—
密度	ρ	—	—
光通量; 热流	Φ	—	—
力	P, F, Q, R	—	—
綫速度(点速度)	v	w, u	—
光速	c	—	—
热容量	C	—	—
重力加速度(自由落体加速度)	g	—	—
角加速度	ε	—	—

續表

名 称	符 号		附 註
	主要的	备用的	
每分鐘轉數	n	—	—
能量	E	A, U, W	—
动能	T	—	—
位能	Π	—	—
导綫長度	l	—	—
导綫截面	S	—	—

緒 論

I. 傑出的俄国和苏联电工学家

現代的电工技术水平，無論是在电学理論方面，或者是它的实际应用方面，在很大程度上都是由于俄国电工学家們的努力而达到的。現在我們把这些傑出的俄国电工学家們的名字列举如下：

米哈依尔·华西列維奇·罗蒙諾索夫(19.11.1711—15.4.1765)，俄国科学的創始人，俄国研究电气現象的奠基者，“論大气中的电力現象”的作者，發現了化学反应时的物質不灭律的原理以及关于作为运动的不同形态的热、光、电的概念。在莫斯科創辦俄国第一所大学的發起人（1755年）。

果尔格·維里盖里姆·李赫曼(22.6.1711—6.8.1753)，俄国院士，罗蒙諾索夫的共同工作者，曾和他一起創立和解釋了雷电現象的电气本質，論文“确定自然和人为电气現象时的电指示器及其应用”的作者，首先实现了系統地測量电气現象，并且为了这一目的而制成了靜电計。

弗蘭茨·烏里利赫·却多尔·爱皮努斯(13.12.1724—10.8.1802)，俄国院士，首先提出有关电、磁現象关系的科学家之一，“电学与磁学理論”的作者。

华西里·符拉基米罗維奇·彼得罗夫(19.7.1761—3.8.1834)，院士，俄国电工技术之父（“第一个俄国的电工学家”），發現了电弧（1802年5月）并曾預言其应用范围，創制了电机^①，应用电气絕緣的先驅，当时流行的物理学教科書的著作者。

华西里·那扎罗維奇·卡拉津(10.2.1773—16.11.1842)，哈尔科夫大学的創辦人，致亞历山大一世的报告“关于应用高空电力

① 意指当时他所發明的一种电池而言。譯者註

于人民需要的可能性”的作者，植物的电培植試驗的作者，他研究了电流在發酵过程中的作用。

帕維爾·里沃維奇·許林格(16.4.1786—6.8.1837)，天才的發明家，他在1812年曾以絕緣导綫操縱远距离的水雷爆炸而首先將电用于軍事上。1832年，帕·維·許林格發明了第一部电磁电报机并应用这种电报机来实际工作。

包利斯·謝苗諾維奇·雅可比(21.9.1801—10.3.1874)，院士，發明了直流电动机并在实际中加以应用。1838年9月，沿涅瓦河有了世界上第一艘用包·謝·雅可比的电动机开动的輪船行駛。他是电鑄术的創始人，电鑄术就是用电解的方法复制物品的外貌(得到物体的复制品)。包·謝·雅可比还創制了許多种印字电报机。

埃米里·赫利季阿諾維奇·楞次(12.2.1804—10.2.1865)，院士，創立了說明电机的可逆原理的定律。埃·赫·楞次对感应电流的方向下了一个定律，那就是物理学中有名的“楞次定則”。1844年，他和英国科学家焦耳同时而独立地發現了电流热效应的定律。这个定律在物理学中就叫作“楞次-焦耳定律”。

亞历山大·格利哥里耶維奇·斯托列托夫(10.8.1839—27.5.1896)，莫斯科大学教授，首創鉄的磁化过程曲綫，因而为計算电磁机械奠定了合理的理論根据。亞·格·斯托列托夫还創立了現代光电管和电视的理論与技术基础。

德米特利·亞历山大諾維奇·拉契諾夫(22.5.1842—28.10.1902)，天才的俄国工程师，發現了用电解获得氢的方法，应用海綿狀鉛来形成蓄電池的極板。德·亞·拉契諾夫首先从理論上証明了远距离电能傳輸的可能性与合理性。

符拉基米尔·尼柯拉耶維奇·契柯列夫(3.8.1845—6.3.1898)，天才的發明家，發明了弧光灯的差动調整器，首先創造了机器的电傳动(电动縫紉机)，他是軍用电工技术和照明技术的前驅。

巴維爾·尼柯拉也維奇·雅布洛契柯夫(14.9.1847—31.3.1894)，定名为“雅布洛契柯夫电燭”的电照器的發明者，在外国它

被称为“俄国之光”。

巴·尼·雅布洛契柯夫还創造了具有單相变压器雛型的感应器，并提出用电容器分割电能的方法。

亞历山大·尼柯拉也維奇·洛迪根(18.10.1847—16.3.1923)，天才的电工發明家。1872年他創造了炭絲白熾电灯，而在1890年發明了鎢絲灯。从那时起，鎢絲灯就获得了普遍的应用。

伊凡·菲利波維奇·烏薩金(7.9.1855—26.2.1919)，自学的电工学家。1882年他發明了單相变压器，改进了巴·尼·雅布洛契柯夫的感应器。

尼古拉·加弗利洛維奇·斯拉維揚諾夫(14.12.1854—17.10.1897)，著名的工程师。1890年他首先实际应用电弧实现了金屬的电焊。

尼古拉·尼柯拉也維奇·別納尔 篤斯(28.7.1842—21.9.1905)，傑出的發明家。他發明了电弧电焊的方法。尼·尼·別納尔 篤斯采用了电弧来切断金屬和在水溶液中熔解金屬的方法。

亞历山大·斯捷潘諾維奇·波波夫(16.3.1859—13.1.1906)，傑出的俄国科学家，無綫电的發明者。1895年5月7日，亞·斯·波波夫在俄国物理化学学会的會議上表演了第一个無綫电雷电指示器。由于亞·斯·波波夫的貢獻使俄国成为無綫电的祖国。

米哈依尔·欧西波維奇·多里沃-多布罗沃里斯基(3.1.1862—15.11.1919)，天才的工程师，三相交流制的發明者，由于这一發明才引起了远距离电能傳輸的飞速进展。他还發明了三相異步电动机、三相变压器和一些現代的电气測量仪器(伏特計、相位計、頻率計)。米·欧·多里沃-多布罗沃里斯基的發明使現代电工工業有了巨大發展。

如果要更加广泛地了解卓越的俄国电工学家和他們的貢獻，可閱讀 M.A. 沙捷連著的“十九世紀后半期的俄国电工学家”(国家动力出版社，1950年)和 Н.И. 魯多麦托夫的“俄国的电工学家”(国家动力出版社，1947年)。

在偉大的十月社会主义革命之后，我国电工技术的发展走上了新的、社会主义的道路。現在已經不是个别的科学家，而是大批的科学家、工程师、技师和工人們集体从事于研究解决各种电工技术問題的工作。

下面，我們仅列举某些傑出的苏联电工学家們的名字。

謝尔盖·伊凡諾維奇·华維洛夫 (24. 3. 1891—25. 1. 1951)，院士，光学家和照明学家，曾研究出新型而又經濟的、能發出日光的照明光源^①，苏联科学院院長 (1945—1951年)，他曾四次获得斯大林獎金。

根利赫·奥西波維奇·格拉弗季奧 (27. 12. 1869—30. 4. 1949)，院士，动力学家，苏联首批水力發電站 (伏尔霍夫水电站，以格拉弗季奧命名的下斯維尔水电站) 和高压輸电綫路的建設者，全俄国家电气化委員會委員。

符拉基米尔·費多罗維奇·米特凱維奇 (3. 8. 1872—1. 6. 1951)，院士，著名的苏联电工学者，有关电流的本質及电磁感应机械著作的作者，斯大林獎金的获得者。

卡尔·阿多里福維奇·克魯格 (18. 7. 1873—24. 4. 1952)，功勋科学技术工作者，苏联科学院通訊院士，莫斯科电工技术学校的创办人，全俄国家电气化委員會委員，《电工原理》教程的作者。

伊凡·加甫利洛維奇·亞历山大罗夫 (1. 9. 1875—2. 5. 1936)，院士，第聶泊水电站設計及安加拉等河流利用計劃的作者。

亞历山大·亞历克謝維奇·切尔內曉夫 (29. 3. 1882—18. 4. 1940)，院士，積極地参加了全俄国家电气化計劃的工作，他对高压、高频及無綫电技术进行了重要的研究。

华西里·米哈依洛維奇·赫魯曉夫 (15. 5. 1882—19. 12. 1941)，烏克蘭科学院院士，是計算电力網絡和远距离电能傳輸方面的卓越的苏联学者。

^① 意指荧光燈 (日光灯)。譯者註

亞歷山大·安通諾維奇·斯穆羅夫(3.1.1884—8.4.1937),傑出的蘇聯高壓技術方面的研究家和實驗家,功勳科學技術工作者。

克拉甫吉·依波里托維奇·申費爾(7.6.1885—18.5.1946),院士,電機方面的發明家和研究者,有關電機的許多教科書的著作者,斯大林獎金的獲得者。

包立斯·叶甫根里耶維奇·維傑也夫(2.1.1885—25.9.1946),院士,建設以列寧命名的第聶泊水力發電站的總工程師,斯大林獎金獲得者。

彼得·謝爾蓋維奇·日丹諾夫(2.6.1903—30.12.1949),莫斯科動力學院教授,現代電力網理論的創始人之一,曾研究了遠距離高壓和超高壓電能傳輸的問題,斯大林獎金的獲得者。

全體蘇聯科學家、工程師、技師和工人們的有效勞動,就可以順利地來完成共產黨在進一步全國電氣化以及發展電工技術、無線電與電信技術等方面所提出的全部任務。

II. 物質構造的電子理論。電荷

任何物質都是由許多分子構成的,各個分子相互之間有空隙隔開。分子是保持某一物質的特性的最小組成微粒。構成分子的更小的微粒叫作原子。《原子》一詞按希臘語是《不可分割》的意思。但許多試驗證明:任何原子都由一個比較小而重的原子核和一個或一些圍繞着原子核而旋轉的極輕微粒(名叫電子)所構成。最簡單的原子就是氫原子,圍繞它的原子核旋轉的只有一個電子。電子圍繞原子核旋轉的路綫叫做軌道。關於這種情況現在有這樣的假說:任何電子,除圍繞原子核沿軌道旋轉外,同時也圍繞着通過電子本身中心的軸而旋轉。電子圍繞其本身軸旋轉,就相當於電子具有一定的動量機械力矩(即所謂自旋)及與此相關連的一定的磁矩^①。一切

① 如欲對電子的動量機械力矩和自旋磁矩作進一步的了解,可參考東北教育出版社1952年譯版克魯格著《電工原理》上冊第193頁。譯者註

原子的核都帶有正电荷，而一切电子則具有最小的負电荷。由于氢原子在电气上是呈中性的，这就說明其原子核的正电荷等于其电子的負电荷。氢的原子核叫做質子。質子的电荷是最小的正电量。

按照現代物理学的观点，电子不仅帶有負电荷，而且还具有电磁場，它和电子电荷是有机联系着的，并且电磁場总是圍在这个电荷的周圍，就好像包圍着太陽的光一样。电磁場是一种具有独特物理意义的特殊物質过程，我們將在以后單独的討論它。

原子核也可以是一种复合的微粒。例如鈉的原子核（圖 1）就是由 11 个質子和 12 个中子組成的。中子是一种很小的、不帶有任何电荷的物質微粒。由于原子核內有內力^①的存在，就使質子和中子得以保持于原子核內。支持电子于自己軌道上的是由于一种电的力量，这种电的力量就好像是負电荷被吸向正电荷时的力量一样。实际上，电子是沿橢圓軌道圍繞原子核而旋轉的，这时就構成了一些所謂电子壳層，如 *K*、*L* 和 *M* 等是。其中 *K* 和 *L* 等層叫作內电子壳層，而組成电子壳層 *M* 的一些电子則叫做外圍电子或边界电子。

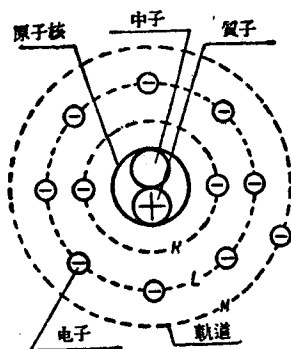


圖 1

偉大的俄国化学家 Д. И. 門捷列夫于 1869 年所創制的元素週期表。其中每一化学元素所处的位置就是由电荷数量和它們在原子內的配列情况来确定的。例如：表內元素的原子序数系由沿軌道旋轉的电子数目来表示；元素的原子量等于原子核內質子和中子数量的总和；而該元素的週期則等于电子壳層数。

在任何中性的原子內，質子的数目总是和电子的数目相等的。例如鈉的原子就具有 11 个电子、11 个質子和 12 个中子。然而，对

① 即所謂原子核力。譯者註