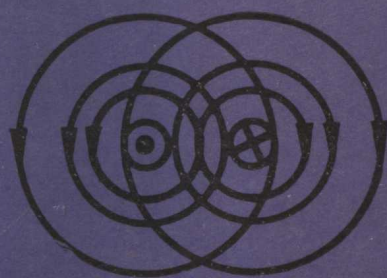


DIANGONGXUE SHIYONGZHISHI

(第一册)



〔联邦德国〕A·D 鲍曼等著

电工学实用知识

中国劳动出版社

电 工 学 实 用 知 识

(第 一 册)

电 工 学 · 电 工 实 践 · 材 料 学

【联邦德国】A.D 鲍曼等著

第二汽车制造厂技工学校组织翻译

居国正 译 傅佑同 校审

中 国 劳 动 出 版 社

本书是根据联邦德国鲍曼(Baumann)等编著的《Fachkenntnisse Elektrotechnik》《电工学实用知识(1)》手工艺与技术出版社(Handwerk und Technik)1982年第四版,由第二汽车制造厂技工学校组织翻译的。该校以此书为蓝本,结合我国技工学校实际编写有关教案和学习资料进行教学。

本书分三册,本册内容包括电工学、电工实践和材料学三部分。电工学主要讲述交流电技术基础、变压器、半导体和整流器、电机、电测量仪表;电工实践主要讲述电气设备的安装、用于电气设备安全的VDB规定、电网和断路器及其原理、电声转换器和基本电路、变压器、整流器、电机、电测量实践、电功的价目表和用电容器改善功率因数;材料学主要讲述有色金属、导体和电阻材料、特殊材料、非金属材料、纤维素衍生物和气件等。

本书可供技工学校教师和技术人员参考,也可供技工学校学生和在职工人自学使用。

Fachkenntnisse Elektrotechnik

Fachstufe 1 Energietechnik Elektrotechnik Elektropraxis Werkstoffkunde

Fachstufe für Industrie und Handwerk

4., durchgesehene Auflage

Baumann Betz Beuth Bruderreck Glass Hämmerle Hilt

Huber Werner Wunderlin

Verlag Handwerk und Technik G. m. b. H

Lademannbogen 135, 2000 Hamburg 63

1982

电工学实用知识

(第一册)

电工学·电工实践·材料学

[联邦德国] A.D 鲍曼等著

第二汽车制造厂技工学校组织翻译

居国正译 傅佑同 校审

责任编辑 王绍林

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街12号)

1201工厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 32.75印张 812千字

1989年7月北京第1版 1990年9月北京第1次印刷

印数:4500册

ISBN 7-5045-0494-7/TM·030(课) 定价:15.00元

第四版前言

本书自从1978年第一版发行以来，每年出一个新版，这个事实表明了这本书在职业教育的教学中已具有一定的地位。版本的迅速更新保证了教学内容总是反映最新的技术状况。

不久前专业同行们的许多来信鼓励我们并提出了改进意见，对此我们表示衷心的感谢。

所有的批评意见，包括多数非常好的意见以及完全无用的意见，再次反映了当前电工技术的专业教育中的问题。遗憾的是，技术的进步没有顾及教育的愿望。

一本打算较多地用于课堂教学的书不能对技术的进步置之不理。当然，这可能而且必然使学生在乍一开始学习时有些不适应。

由各种各样的电工职业所确定的教材内容可以通过新的编排概括为电工学、电工实践和材料学三部分。

在**电工学**中用少数例子作为有力的论证顺利地讨论了基础知识。在这部分中保持了电工技术的清晰的逻辑结构。教材内容按此方法分解，并鼓励学生学习必要的概念。

本书在**电工实践**部分中进一步讨论电工技术的应用，作了详细的阐述。不少企业在教育中也乐于使用本册的这部分内容。

在**材料学**中提供了与电工技术有特别关系的教学内容。在这里只涉及了发展中的材料技术的一个狭小范围——原材料基础。在专业阶段Ⅰ这一册中材料学便告结束。在对专业技术进行讨论的专业阶段Ⅱ中不再对这个内容进行讨论。本书并不是只对一个教育体系确定方向，它也适用于电力技术的专业。因此它可以用于阶段性的或非阶段性的培训。本书包含了这个职业的所有学习内容。它们全包括在专业阶段Ⅰ中。

在教学材料的选择方面照顾了电力技术的各个电工专业的教学计划。

本书提供的材料的广度和深度在某些地方比目前课堂教学更广些和更深些。这是为了适应科技的状况以及使所有的教育计划有共同的基础。教师可以根据课堂的情况有重点地选择对于某电工职业合适的教学内容。

通过这篇著作的纵向和横向的编排，使得电工学、电工实践、材料学具有相对的独立性。对于至今尚只了解电工技术现象的学生，可能有必要向他们解释这样编排的动机。

此外，本书还给学生提供了获得现代电工技术领域信息的机会。在此教师可以建议学生用较经济的时间去学习这部分内容。

对于手工业和工业的电力技术学生，初级教学周期为2年或3至3年半。在全日制学校中本书可作为电力技术专业教科书。此外，打算逐渐熟悉电力技术的读者也可以使用本书。

作者谨向对本书给予支持的部门和公司致以感谢。

我们衷心地请求专业教育工作者通过建议和批评为本书的改进作出贡献。

作者

说 明

联邦德国职业学校“双元制”教学计划，开设三门专业课即《专业理论》、《专业计算》、《专业制图》。我校自1985年引进了联邦德国职业学校“双元制”教学计划，除开设三门专业课外，并开设《语文》、《政治》、《体育》三门课。

《电工学》是联邦德国职业学校电工类《专业理论》教材，本书共三册，即：《电工学基础知识》、《电工学实用知识》（第一、二册），其内容包括电工学，电工实践，材料学（电工常用材料）及电气机械。本书在培训专业技术人员、初级技术人员的过程中，既可作为教学的正式教材，也可作为个人专业进修的自学的教材。本教材适用的专业范围极为广泛，由于科学技术的发展，各行业都离不开“电”，因此学习本书都会有所裨益。本书以最基本的科学理论为导引线，以实物和实例进行对比，体现了综合运用各门科学理论解决实际问题的具体措施和思路。同时提出了标准化的各项规定及安全生产的注意事项。

本书编写的内容具有如下的重要特点：

1. 内容从最基本的概念开始，对所有的定理和专门名词定义，都以严谨、通俗、简单扼要的词句加以阐明，使学者便于理解和记忆；

2. 在解释基本概念的同时，借助于实例加以说明，使学者立刻把基本概念与他所熟悉的常见事物联系起来，这样就不会使学者感到定理是枯燥的死教条，而是活生生有用的知识；

3. 对于物质世界的客观规律辅以图加以说明，使之紧密联系，极为重视联系实践，但又不单纯以经验为主；

4. 计算例题概念清楚，计算过程简单，例题的实用性强；

5. 在必要的部分列出全面的有用的性能数据，其中有许多是很难得的资料；

6. 本书各部分都极为重视生产安全及事故防护。

全书基本上是以“看图识字”的方法进行专业知识学习。分节细，每节都有思考题，可以自己检查自己的学习质量。

这是一套实用性很强，基本概念十分正确，清晰的专业书籍，学习本书它一定会使你获得巨大的收益。

本书在出版过程中，承蒙中国劳动出版社的大力支持，在此，我们衷心的感谢。由于我们水平有限，书中不妥之处是难免的，愿望读者批评指正。

第二汽车制造厂技工学校

高级讲师 高德凤

一九八九年十月三十一日

目 录

公式符号的来源和国际单位制	1
---------------	---

电 工 学

交流电技术基础	10
1. 电磁感应定律、涡流、电感	10
2. 交流电量的命名和确定	15
3. 正弦交变量的曲线图示和矢量图示	31
4. 三相交流电及其联结	34
5. 交流电路中的有功电阻, 无损耗的电容和电感	40
6. 有功电阻和电容以及有功电阻和电感的并联和串联	48
7. 有功电阻、电容和电感的并联、串联和谐振	57
8. 交流电的功率和功	65
9. 有损耗的电容 C 和电感 L	76
10. 三相交流电的功率和功	82
11. 功率因数的改善(补偿)	85
12. 电阻、电感、电容网络的频率特性和脉冲特性	90
变压器	95
13. 变压器的原理	95
14. 变压器的工作特性	99
15. 三相变压器	107
16. 特殊变压器	112
半导体和整流器	117
17. 半导体二极管	117
18. 整流器	121
19. 可控半导体器件	126
电 机	139
20. 电机中的电压和磁场	139
21. 同步电机和异步电机原理	145
22. 直流电机的原理	158
23. 单相交流电机的原理	165
24. 电机绕组的基本种类	170
电测量仪表	178
25. 动圈式测量仪表	178

26. 电动式测量仪表	182
27. 动铁式测量仪表	185
28. 感应式测量仪表	187
29. 仪表互感器	190
线路计算	194
30. 终端接有负载的直流、交流和三相线路的计算	194

电 工 实 践

电气设备的安装	206
1. 电力在住房建筑、手工艺行业和工业中的分配	206
2. 架空线的架设	210
3. 电缆的敷设	225
4. 电气安装	237
用于电气设备安全的VDE规程	246
5. 直接接触和间接接触的防护	246
6. 带有安全引线的防护措施	247
7. 没有安全引线时的防护措施	252
8. 间接接触时, 防护措施的检验	255
9. 空间类型工作场所和特殊条文	257
10. DIN57105/VDE0105的五条安全规则	259
11. 电气设备的防火, 在发生事故时的急救指示	265
电网和断路器及其原理图	268
12. 电网的运行和保护	268
13. 电路控制装置	274
14. 电气控制技术的基本电路	282
电声转换器和基本电路	289
15. 电声转换器	289
16. 室内对讲装置的基本电路	295
17. 呼叫装置和防盗装置的基本电路	298
变压器	302
18. 变压器的构造、类型与应用	302
19. 变压器的检验	312
20. 变压器的安装和维护	316
21. 变电站的结构与维护	320
整流器	324
22. 整流器的参数、检验与维护	324
电 机	331
23. 绕组的生产与检验	331
24. 电机的设计与检验	337

25. 电机的安装与维护	350
电测量实践	357
26. 有功电阻 R 、电感 L 、电容 C 和频率 f 的测量	357
27. 功率的测量方法	363
28. 用电度表测量功的方法	366
电功的价目表	374
29. 电能的产生和使用	374
用电容器改善功率因数	378
30. 用提高功率因数的电容器补偿设备的结构, 电路的检验和维护	378

材 料 学

有色金属	386
1. 有色金属的特征	386
2. 铜和铜合金	390
3. 轻金属	395
4. 锡、锌、铅	399
5. 汞和贵金属	401
6. 有色金属对比一览	403
半导体和掺杂材料	406
7. 半导体的物理基础知识	406
8. 半导体中的杂质导电性	408
9. PN 结	410
10. 半导体材料与半导体的掺杂技术	412
导体和电阻材料	414
11. 导体材料概述与对比	414
12. 电阻材料概述与对比	417
13. 发热导体材料的概述与对比	420
特殊材料	424
14. 触头材料, 热双金属	424
15. 板材和半成品	429
16. 荧光材料	430
非金属材料	435
17. 非金属材料综述	435
18. 非金属材料的要求和试验	437
19. 矿物材料和玻璃	442
20. 陶瓷材料	447
21. 木材、纤维材料、纤维素、纸、压制碎屑制品和纤维素衍生物	455
22. 天然橡胶、绝缘油、沥青和用作绝缘材料的气体	460
23. 塑料(合成材料)、巨分子和塑料加工	465

24. 热固性塑料的性质、应用和加工	476
25. 热塑性塑料的性质、应用和加工	481
26. 弹性塑料与塑料概述	490
27. 绝缘膜和绝缘带	492
28. 浇铸树脂、电绝缘漆、浸渍漆和导电漆和粘结材料	499
辅助材料	504
29. 溶剂、清洁剂和保养剂	504
30. 润滑材料和研磨剂	507

公式符号的来源和国际单位制

物理量	公式符号	公式符号的来源	单位	单位的来源
长度	l	英语length	m	希腊语metron, 尺寸
面积	A	英语area	m^2	与长度相同
体积	V	拉丁语Volumen	m^3	与长度相同
质量	m	英(德)语mass(e)	kg	希腊语chilioi = 1000 法语gramme, 重量
密度	ρ	小写希腊字母	kg/m^3	见质量和长度
时间	t	拉丁语tempus	s	拉丁语sekundus
频率	f	拉丁语frequentia	Hz	德国物理学家H. Hertz (赫芝)
圆频率	ω	小写希腊字母	1/s	见时间
速度	v	拉丁语Velocitas	m/s	见长度与时间
加速度	a	英语acceleration	m/s^2	见长度与时间
力	F	英语Force	N	英国物理学家 Isaaak. Newton (牛顿)
压强	p	英语pressure	Pa	法国物理学家 B. Pascal (帕斯卡)
能量, 功	W	英语Work	bar	希腊语baros, 重量
			Nm	见力和长度
			J	英物理学家J. Joule (焦耳)
功率	P	英语Power	Ws	见功率和时间
摄氏温度	θ	希腊小写字母	W	英工程师J. Watt (瓦特)
开氏温度	T	希腊大写字母	℃	瑞典物理学家A. Celsius
电流	I	法语intensité	K	英国物理学家Lord Kelvin (开尔文) (W. Thomson)
			A	法国物理学家A. Ampere (安培)
电压	U	起初用E, V后来改为U	V	意大利物理学家A. Volta (伏打)
电导	G	可能来源于英语Gate, 通过的意思	S	德国科学家W. Siemens (西门子)
电阻	R	拉丁语resistitia	Ω	德国物理学家G. S. ohm (欧姆)
电荷	Q	拉丁语quantum	C	法国物理学家C. A. Coulomb (库仑)
电容	C	拉丁语Capacitas	F	英物理学家M. Faraday (法拉第)
电场强度	E	希腊语elektro, 琥珀的意思	V/m	见电压和长度
磁通	Φ	希腊大写字母	Wb	德国物理学家W. Weber (韦伯)
磁通密度	B	可能是来源于英语的bunch, 捆, 束的意思	T	南斯拉夫物理学家N. Tesla (特斯拉)
电感	L	英lumpish, 携带的意思	H	美国物理学家J. Henry (亨利)
磁场强度	H	英语heavy, stark, 重的意思	A/m	见电流和长度
照度	E	法语eclairage	lx	拉丁语, lux, 光
热量	Q	拉丁语quantum	J	英国物理学家焦耳

注: 电量和热量具有相同的符号 Q , 在实际应用时, 电量用 q 表示, 热量用 W 表示, 并在 W 下面标注脚标如 W_{mech} , W_{el} 和 W_{th} 区别机械能、电能和热能。

缩写符号的书写方式

缩写符号有: 公式符号, 单位符号, 概念用的符号, 数字符号等。

缩写符号用拉丁字母(A, B, C, a, b, c), 希腊字母(α, β, γ)的大写和小写字母以及特殊的符号和缩写($\sim, Y, \Delta, \times, \&, el, mech$ 等)表示。

在印刷时还可以用正体(A, B, a)和斜体(A, B, a)加以区别。例如在用正体表示单位或概念时,就可以用斜体来表示公式符号。在手写表示时这种区分是困难的。在这种情况下,物理量或者单位的符号通过相互关系辨认。

多重意义

因为所需的缩写符号的数目明显地大于可使用的字母和特殊符号,所以符号的多重意义是不可避免的,例如“G”可以表示电导,发电机,栅极,晶格等不同意义。符号的含义由相互关系确定。

脚标的应用

通过脚标的使用可以扩充符号的数目。字母和数字都可以用作脚标,例如 U_1, U_2, U_L, U_C 。脚标分简单脚标(U_1, I_B, P_{max})或双重脚标。双重脚标的形式有以下几种:

P_{1max} 或 $P_{1,max}$ 或 $(P_1)_{max}$

如 $P_{1,max}$ 那样的三行书写形式应当避免。

直流电和交流电的公式符号

对于 $U, I, P, Q, S, R, X, Z, G, B, Y$ 等电量,当所表示的内容为恒定值或有效值时用大写字母,表示的内容为交变值时用小写字母。在字母下面加一横道($\underline{U}, \underline{I}$)表示这些量是矢量。 u, i, p 的峰值用 $\hat{u}, \hat{i}, \hat{p}$ 表示。

换用其他符号, 厂家参数

由于符号的多义性,会在文章中、公式中和电路中产生混淆。在这些情况下可以换用其他符号,例如基极 B, b ; 输入端 E, e 或 l 等。在厂家数据文件上经常出现一些符号,它们虽然不符合DIN(德国工业标准)标准,但是由于它们的实用性通常仍被应用。这些符号成为标准符号需要经过相当长的时间。

公式符号一览表

A	面积, 功, 静态电流放大系数, 感应系数
B	导纳, 磁通密度, 静态电流放大系数
C	电容, 常数
D	衰减系数, 长度(较大的直径)
E	电场强度, 弹性模量, 照度
F	力, 噪声系数
G	电导, 重量
H	磁场强度, 总高度
I	电流强度, 光强
J	惯性系数, 电流密度
K	常数, 因子
L	电感, 电平, 亮度
M	互感, 力矩
N	匝数, 槽数

- O 专用来表示零
 - P 功率, 有功功率
 - Q 电荷, 通量, 热量, 无功功率, 品质因数
 - R 电阻(有功电阻), 摩擦长度
 - S 视在功率, 跨导, 电流密度
 - T 开氏温度, 周期, 在厂家数据文件中也用来表示摄氏温度
 - U 电压, 电位差
 - V 体积, 放大系数
 - W 能量, 功, 线圈宽度
 - X 电抗
 - Y 视在导纳
 - Z 视在电阻(阻抗)
- } 在公式中表示坐标或未知数
- a 加速度, 年, 衰耗常数, 长度(距离)
 - b 长度(宽)
 - c 光速, 声速, 专用于热容量, 常量
 - d 长度(直径, 厚度), 日, 损耗系数
 - e 电子电荷, 欧拉常数
- $e=2.71828$
- f 频率
 - g 重力加速度
 - h 长度(高度)
 - i 电流(变化的电流)
 - j 虚数单位 $j=\sqrt{-1}$
 - k 常数, 保真系数, 因子
 - l 长度
 - m 质量, 调制度, 绕组相数目
 - n 旋转数, 旋转频率, 变比
 - o 专门用来表示零
 - p 压强, 变化的功率, 极对数
 - q 导线的横截面积, 电荷, 绕组的槽数
 - r 半径, 变化的电阻
 - s 长度(路程), 转差率
 - t 时间, 摄氏温度
 - u 变化的电压
 - v 速度
 - w 波动性
 - x
 - y 绕组节距
 - z 导线数
- } 在公式中用来表示坐标和未知数

ü 变比

希腊字母:

Δ 差, 例如 ΔT

Θ 磁势

Λ 磁导纳

Σ 和, 例如 $\Sigma I \cdot R$

Φ 磁通, 光通量, 热流

Ω 专门用来表示电阻单位

α 角度, 电流放大系数

β 角度, 电流放大系数

γ 角度, 导电率

δ 角度, 损耗角

ε 介电常数, 延伸率

η 效率

ϑ 摄氏温度

k 导电率

λ 波长

μ 磁导率, 摩擦系数

ν 频率, 在绕组中的节距缩短, 粘滞度

π 圆周率 $\pi = 3.14159 \dots$

ρ 密度, 电阻率

σ 机械张力, 导电率

τ 时间常数, 脉冲持续时间, 槽距和极距

φ 角度, 相角

ω 圆频率, 角速度

用于表示概念, 特殊标记的符号一览表

这些缩写符号主要用作脚标。表中所列的符号是目前常用的符号。在可能产生混淆的情况下应改用大写符号或小写符号。

A a 输出端, 阳极, 外部的..., 电枢, 关断...

B b 基极, 无功的...(b), 工作的...

C c 集电极, 电容器(元件)

D d 排水管, 延迟(d, 延迟), 二极管, 持续时间, 击穿

E d 发射极, 输入端, 半波整流(E), 接地(E)

F f 电源回线(f, 反馈), 通量..., 场..., 函数

G g 发电机, 栅极, 晶格, 机壳, 极限...

I i 内部的..., 罗马字 I, 仪表, 绝缘

J j 结(阻挡层)

K k 阴极, 短路(k), 耦合...

L l 导线, 空载, 低(L), 线圈(L元件), 负载

<i>M</i>	<i>m</i>	平均…, 中间抽头全波整流电路, 电动机, 质量, 最大值
<i>N</i>	<i>n</i>	额定…, 标准, 电源…, 负的…, 分…, 辅助…, 旁…, 并联…
<i>O</i>	<i>o</i>	用于表示零: 空载, 初始值, 参数, 空的空间
<i>P</i>	<i>p</i>	点, 正的…
<i>Q</i>	<i>q</i>	横的…(<i>q</i>)
<i>R</i>	<i>r</i>	有功电阻(<i>R</i> 表示元件), 相对的(<i>r</i>), 反向的…,(截止的…)
<i>S</i>	<i>s</i>	源, 峰, 冲击
<i>T</i>	<i>t</i>	变压器, 晶体三极管
<i>U</i>	<i>u</i>	
<i>V</i>	<i>v</i>	损耗, 在…前面(<i>v</i>)
<i>W</i>	<i>w</i>	有功的…
<i>X</i>	<i>x</i>	
<i>Y</i>	<i>y</i>	
<i>Z</i>	<i>z</i>	

} 在 三相交流电中表示接线标记

} 表示坐标的脚标

缩写符号的含义

<i>aus</i>	关断	<i>el</i>	电的
<i>Batt</i>	电池	<i>mech</i>	机械的
<i>Betr</i>	工作的	<i>th</i>	热的
<i>Brmm</i>	交流声	<i>max</i>	最大的
<i>Di</i>	二极管	<i>min</i>	最小的
<i>ein</i>	接通	<i>zul</i>	允许的
<i>HF</i>	高频	<i>tot</i>	全部的
<i>isol</i>	绝缘的	<i>ges</i>	全部的
<i>NF</i>	低频	<i>sperr</i>	截止的
<i>Pr</i>	检验	<i>eff</i>	有效
<i>Rö</i>	电子管	<i>ss</i>	峰对峰
<i>Th</i>	晶闸管	<i>pot</i>	电位
<i>Th</i>	晶体三极管	<i>Kin</i>	动力的

在一些情况中使用特殊符号, 例如:

~ 交变量

Y 星形

△ 三角形

U 矢量(由下面的横道表示矢量)

\hat{u} 最大值

↗ 角度

⊥ 外壳

电路中的方向箭头和参考箭头(DIN1323和5489)电压和电流的方向

按DIN5489规定, 电压的正方向由高电位点指向低电位点, 电流的正方向是正电荷运动

的方向(图1)。

如果必须在电路中(例如电子管或气体放电管)标明电荷的实际运动方向,可以用带虚线的箭头或者其他方式标明的箭头表示这个方向(图2)。这里所表示的电子的流动方向和电流的方向相反。

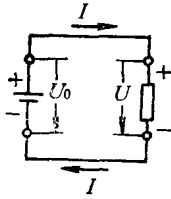


图 1

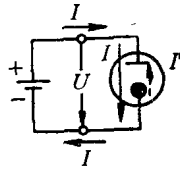


图 2

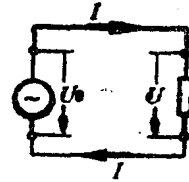


图 3

交变量的参考方向

交变电压和电流的方向不断地变化,因此不能用一个固定的方向表示,它们的方向和完全确定的时间 t 有关。简单而又常用的方法是对电压和电流规定一个参考方向。这是一个辅助概念,而且和交变电压的变化以及它们的频率无关。

参考方向用箭头表示(图3)。

电压箭头总是位于电路的两点之间,电流箭头位于电路中(图3)。如果电流箭头不能画在电路中,也可将箭头紧靠着电路画出(图1和3)。

参考方向和符号

和参考方向一致的量带有正号(图4)。 U 和 I 的符号的改变意味着箭头的方向转变 180° 。

这也适用于用数字表示的参考点和电压与电流用脚标描写的情况(图5)。

$$U_{12} = -U_{21} \quad U_{21} = -U_{12}$$

$$I_{12} = -I_{21} \quad I_{21} = -I_{12}$$

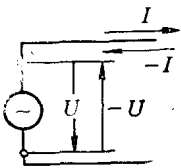


图 4

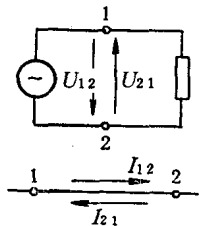


图 5

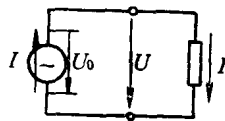


图 6

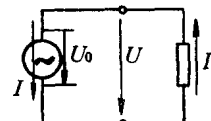


图 7

电源和负载箭头系统。

由于参考箭头与交变量之间没有物理关系,因此可以任意规定电压箭头和电流箭头的方向。存在两种可能性:

在图6中负载上的电压和负载中的电流具有相同的方向。这种关系的箭头称为负载箭头系统。这个系统中可以通过电流 I 的方向与电压 U_0 的方向相反辨认出电源(发电机)。

在图7所表示的电路中,电源上的电压和电源中的电流具有相同的方向。这种关系的箭头称为电源箭头系统。这时在负载上电压和电流的方向相反。

在本课本中只使用负载箭头系统。

在某些情况中(感应过程,变压器等),在作物理解释时使用电源箭头系统。这样会破坏系统的单一性。所以将它们旋转 180° 转变为负载箭头系统。

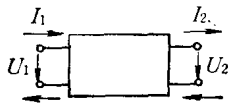


图 8

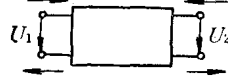


图 9

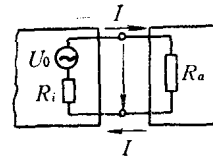


图 10

在四端网络中的参考矢量

在四端网络中，如放大器、变压器等，箭头可分为链式箭头系统和对称箭头系统(图9)。

在这个课本中使用链式箭头系统，它在物理上与能量传输方向和信号传输方向相配合。

当放大器或变压器串联时，前面的四端网络的输出端总是电源，而后面的四端网络的输入端总是负载(图10)。

