

电学基础讲座 第三册

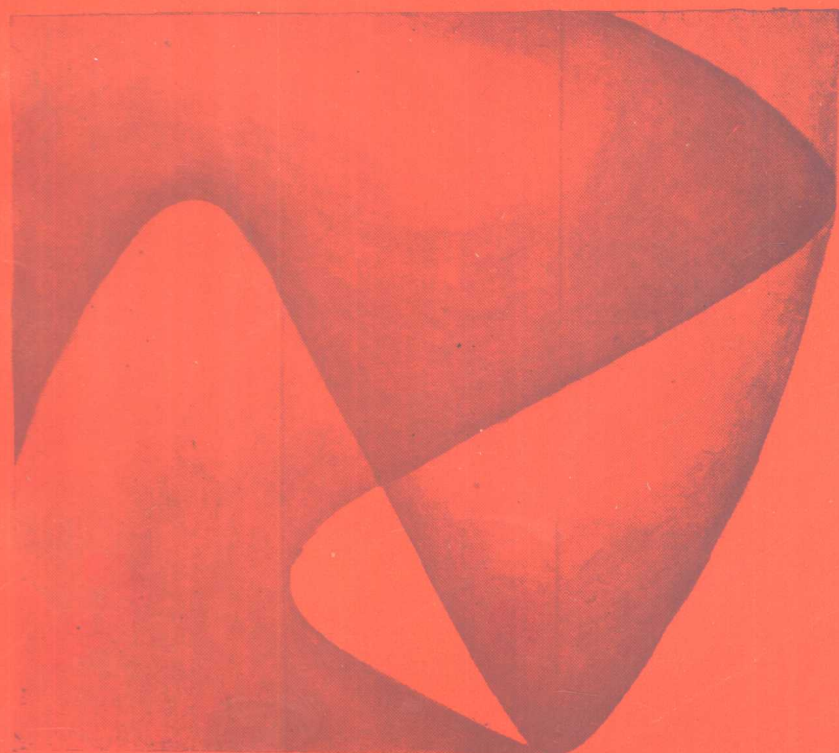
程序式学习法

基础电工学

交流电

〔日〕 末 武 国 弘 主编

松下电器工学院 编著



机械工业出版社

程序式学习法

电学基础讲座 第三册

基础电工学

交流电

〔日〕 末武国弘 主编

松下电器工学院 编著

纪铜城 译

樊宝泉 校



机械工业出版社

本书是日本松下电器产业有限公司培训机构——松下电器工学院对公司人员进行电学基础知识教育的教材，这套《电学基础讲座》共六册（书目附后），这是第三册《交流电》。内容讲述交流电的性质、相位、平均值和有效值，交流电的相量表示法， R 、 L 、 C 元件的作用及其并、串联电路，交流电功率，三相交流电的性质及 Y 、 Δ 接法等基本概念、具体计算及实际运用。每章附有练习题并附解答，书末附有考核试题及答案。

本书是采用当前世界流行的程序式学习法进行编写的，深入浅出、形象喻比、引人入胜、通俗易懂；内容由浅入深、有问有答、概念清晰、便于自学。特别适合作为工矿企业职工培训教材和工人、干部及中学生自学读物，也可作为技工学校和职业中学教学参考用书。

電気基礎講座 3

プログラム学習による

基礎電気工学〔交流編〕

監修 末武国弘

編著 松下電器工学院

発行 松下電器産業株式会社

昭和50年12月1日初版発行

昭和56年8月20日12刷発行

* * *

程序式学习法

电学基础讲座 第三册

基础电工学 交流电

〔日〕末武国弘 主编

松下电器工学院 编著

纪铜城 译

樊宝泉 校

*

责任编辑 董保申

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $77/8$ · 字数 265 千字
1987年1月北京第一版·1987年1月北京第一次印刷
印数 0,001—4,250 · 定价 2.00 元

*

统一书号：15033·6308

主 编 者 的 话

有这样的成语：“明珠暗投”或“马耳东风”。这就是说，无论给谁多么好的东西，总要对方对那件东西感兴趣才行，如果他本人不喜欢，就会无动于衷。上述的成语所比喻的最能表明这种情况。学习也是如此，如果学习者对其所学习的不感兴趣，即使内容再精彩也是枉然。

就是说，无论谁如果没有学习的欲望，而是漫不经心地学习，必然会毫无成效。

如果，学习者从一开始就具有学习的欲望，那当然最好；但也有这种情况，就是在学习开始之后才产生兴趣的。对于学校教学的情况，从其效果来看就与后者相当，所以，教师就应千方百计地想办法来激发学生学习的积极性。

程序式学习法的课本是以自学自习为主的，对于没有学习欲望的人本来是不适用的；但是，现在我们从教育工程学的角度对以往的程序式学习法的课本加以研讨，对它进行了改革，从而编写成这套世界上少有的新程序式学习法的课本。我们把这种形式命名为

“模仿家庭教师形式”

这种形式与传统的程序式学习法的课本基本相同，所不同的只是它增加了解答栏。

在解答栏中，除了普通的答案之外，还加上了模仿“家庭教师的批语”：有时提问、有时提示；有时评论、有时鼓励，根据情况从学习者的角度出发有问有答，从而使人产生一种感觉，宛如在学习者的身边有老师和同学在一起上课似的。

这种形式，从教育工程学上说，就是给予学习者一种有效信息的反馈方法，或者叫做效果认识法(Knowledge of Results)，使学习者随时获悉学习所得成果。

11/72/2

发 行 前 言

这套讲座是松下电器产业有限公司的教育训练机构——松下电器工学院用作对公司人员进行电学基础知识教育的教材，它一方面参考了中等工业学校及各职业训练学校的教学大纲，一方面参考历来的学校教科书与程序式学习法的课本，但不拘泥于以往的教学方法，而是根据教学体会以新程序式学习法的形式编写而成。

因此，本书可望适用于下列目的：

1. 可供中等工业学校、中等职业训练学校，其它各类技术学校及企业内教育机构用作电学基础课的教科书或参考书。

2. 对于机械、化工、经营管理等非电专业的技职人员，为了适应在现代社会活动中对科学知识的需要，可用作学习有关电工、电子技术知识的读物。

3. 对于从事高级电器产品、自动化装置、自动车床及工业测量仪表操作的技术工人，为了理解所接触的设备，可用作学习必要的电学基础知识的读物。

4. 可用作电化教育设备的软件。

5. 可用作通俗的自学读物。

本书是电学基础讲座第三册——《交流电》，是为学完了直流电路并进而打算学习交流电路的人编写的，它一边把交流电的基本性质和 R 、 L 、 C 的作用，交流电功率，三相交流电等与直流电路作比较，或者在实际进行实验取得数据的基础上一边进行解说，务求充分获得交流电路的基础知识和计算能力。

本书的缺点，如蒙读者批评指正，不胜荣幸！

编著者代表

本书的特色和目的

1. 本书各章由下列几部分构成:

① 学习目标

② 内容提要

③ 学习内容

④ 练习题

⑤ 试题 (及格测验)

2. 在“学习目标”中,简单地叙述了该章进行学习的目标。

3. 在“内容提要”中,对该章的学习内容进行归纳,并作出简要的概括,也可用作学习的小结。

4. 在“学习内容”中,学习内容以新程序式学习的教学方法展开;在解答栏中给出了答案,还采用了效果认识法 (Knowledge of Results),并加上模仿“家庭教师的批语”,这是教育工程学上用以提高读者学习积极性和随时获悉学习所得成果的一种新的方法。

5. “练习题”是为了使读者充分掌握学习内容中所学到的概念、定律,以及提高计算能力而选择的广泛内容,并附有详细解答。

6. “试题”可用作检查学习者对各章学习成效的测验题目。每章出10题,100分为满分。

7. 曾在学校里学过的人,在走向社会后若获得再受教育的机会、打算再一次学习时,如嫌本书学习内容过分详细,则可采取以内容提要为主和做练习题入手进行学习的方法。

8. 在集体教学的单位采用本书作教材时,可根据内容提要进行讲授。

9. 若把试题的内容选取一些给与学习者作为测验题目,就可以对学习者的学习成果作出评价。

10. 在企业内的教育培训机构中,举办在职培训、短期集训、函授教育及组织自学等采用本书进行教学时,可根据内容提要讲授,并可把试题作为及格测验和汇报学习成果的试题。

本书的使用方法

1. 初学电学知识的人请从“学习内容”开始学习。

2. “学习内容”是根据新程序式学习的教学方法与教师的讲授一样地展开的。

先用一块特别配制的盖板（如图粗线隐格所示），把解答栏遮盖起来，这样，读者先不看答案，仔细阅读内容，认真思考，并在____处填空。

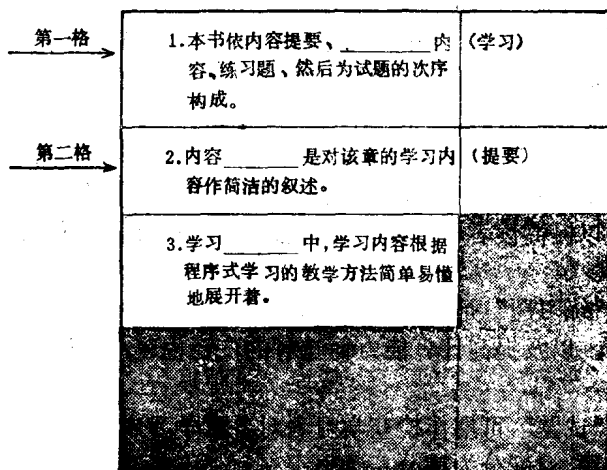


图 0-1

3. 仔细阅读每格的内容，如果弄清了应填入____中的答案，就把它记在笔记本上。

4. 如对自己思考的答案有把握了，就挪一挪盖板，与解答栏中的答案对照，判定是否正确。

5. 如果自己思考的解答正确，就进行到下一格；如果错了，就再仔细阅读一遍，直至掌握并理解正确解答时为止。

不必追求速度，最重要的是一格一格地充分理解并稳步前进。

6. 最后，请对书后所附的“试题”作出解答，以便检验学习的成效。

目 录

第一章 交流电的基本性质	1
第二章 相位	19
第三章 平均值与有效值	33
第四章 交流电的相量表示法	49
第五章 电阻的作用	63
第六章 线圈的作用	71
第七章 电容器的作用	89
第八章 RLC 并联电路	107
第九章 RL 、 RC 串联电路	127
第十章 RLC 串联电路	143
第十一章 交流电的功率	155
第十二章 三相交流电的性质	173
第十三章 Y (星形) 联接法	185
第十四章 Δ (三角形) 联接法	197
各章练习题解答	209
资料	223
试题 (及格测验)	227
试题答案	243

第一章 交流电的基本性质

学 习 目 标

1. 能理解直流电与交流电的定义, 并懂得描画波形图的方法。
2. 知道交流电中有正弦形交流波与非正弦形交流波;
并应知道非正弦形交流波是由若干个正弦形交流波合成的, 根据其波形的不同而有各种各样的名称。
3. 懂得一个交流波具有下列四个基本性质:
(1) 大小; (2) 波形;
(3) 变化速度; (4) 相位。
4. 懂得用瞬时值的式子表示一个正弦交流波的方法, 明白式中的哪一项代表四个基本性质的哪一个?
5. 能够用频率、周期、角速度表示交流波的变化速度。
6. 知道角度的表示法有度数法和弧度法两种, 并会对它们进行换算。

内 容 提 要

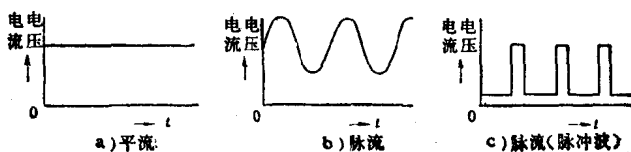
1 我们日常所说的电按其形状可分类如下:

$$\text{电} \begin{cases} \text{直流 (D.C)} \begin{cases} \text{平流} \\ \text{脉流} = \text{平流} + \text{交流} \end{cases} \\ \text{交流 (A.C)} \begin{cases} \text{正弦波交流} \\ \text{非正弦波交流} \end{cases} \end{cases}$$

2 直流:

(1) 如图 a 所示, 大小和方向与时间无关而保持数值恒定的电压和电流称为平流。

(2) 如图 b、c 所示, 方向不变而大小变化的电压和电流称为脉流。

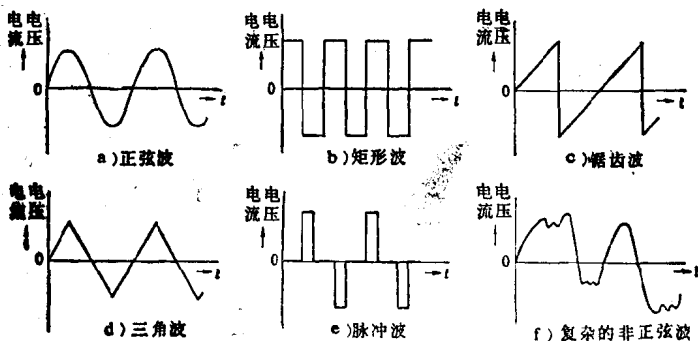


直流

3 交流:

(1) 方向和大小作周期性变化的电压和电流称为交流。

(2) 在交流中, 有如图 a 所示的正弦形交流波和如图 b ~ f 所示的非正弦形交流波两大类。可是, 大家知道, 一个复杂的非正弦交流波是由许多的正弦交流波集合而成的。

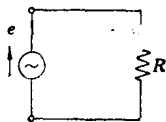


交流

4 表示交流电源的图形符号

(1) 为了表示一个交流电源，采用的图形符号为 。

(2) 如图所示，在交流电源的图形符号的一侧所标的箭头↑是表示交流瞬时电动势方向的，箭头的方向表示电源的正(+)极性。



5 交流的基本性质

(1) 交流的基本性质可用下列四项表示：

①大小； ②波形； ③变化速度； ④相位。

(2) 我们把包含交流四项基本性质的式子称为瞬时值表示式，在某一时刻 t 的正弦波交流电的瞬时值可用下式表示：

电压瞬时值

$$e = E_m \sin(\omega t + \phi)$$

大小 波形 变化速度 相位

电流瞬时值

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi)$$

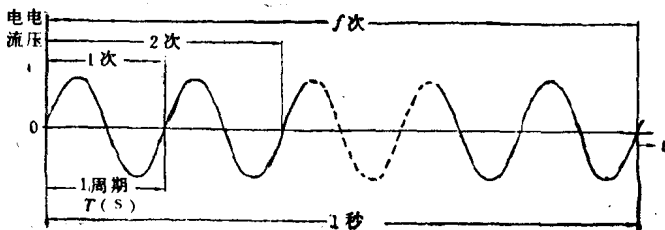
大小 波形 变化速度 相位

(3) 上式中， E_m 和 I_m 分别表示电压和电流的最大值。

6 变化速度

(1) 频率……表示单位时间(1秒)内重复相同变化的次数，用符号 f 表示，单位是赫兹，简称赫，单位代号为[Hz]。

(2) 周期……是完成一次变化(1个周波)所需要的时间，用符号 T 表示，单位是秒，单位代号为[s]。



(3) 频率 f 与周期 T 之间有如下关系:

$$T = \frac{1}{f} [s] \quad \text{或} \quad f = \frac{1}{T} [Hz]$$

(4) 根据波形的变化速度, 频率 f 与周期 T 可使用下表所列的单位。

频 率	名 称	赫	千赫	兆赫	吉赫	太赫
	单位代号	[Hz]	[kHz]	[MHz]	[GHz]	[THz]
	乘 数	1	1×10^3	1×10^6	1×10^9	1×10^{12}
周 期	名 称	秒	毫秒	微秒	纳秒	皮秒
	单位代号	[s]	[ms]	[μs]	[ns]	[ps]
	乘 数	1	1×10^{-3}	1×10^{-6}	1×10^{-9}	1×10^{-12}

注: 吉赫即千兆赫; 太赫即兆兆赫; 纳秒即毫微秒; 皮秒即微微秒。

7 波形的变化速度 ω 与频率 f 、周期 T 的关系

(1) 在瞬时值的式子中, ωt 和 ϕ 用角度表示, 但是, 在电工学中通常利用弧度法来表示角度。

$$1 \text{ 周期} = 360^\circ = 2\pi [\text{rad}] \text{ 弧度}$$

(2) 因 1 周期的时间为 $T = \frac{1}{f} [s]$, 故波形的变化速度 ω 可用下式表示:

$$\omega T = 2\pi$$

$$\therefore \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad [\text{rad/s}]$$

(3) ω 称为角速度或角频率, 单位是弧度每秒, 单位代号采用 $[\text{rad/s}]$ 。

学 习 内 容

1 首先,在学习交流电之前,我们来复习一下关于直流电的概念。

所谓直流电,按规定就是指大小和方向与时间的推移无关,数值一定的电压和电流。

来吧!来学习交流电吧。

2 在英语词汇中,直流电流是 Direct Current,所以通常用缩写 D.C 来表示直流电流。

可是,习惯上将直流电压和直流电流统称为直流电,所以,在用 D.C 表示直流电时,既包括直流电压也包括直流电压,请记住

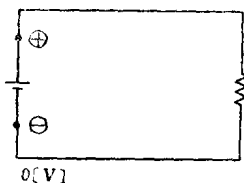
直流电压
直流电流 } 统称为直流电,并简称为 D.C。

嗯,因此把直流电表示为 D.C!

3 如图所示,将产生直流电压的电池的一个端点,即取 (-) 侧端作为参考点,并规定该端点的电位为 0[V]。

这时,作为 0[V] 的电位称为参考电位。

并且,在处理电位时往往取大地(地球)作为参考电位并规定为 [V]。



为什么不可取电池的 (+) 侧端作参考点呢?

“虽然取 (+) 侧端也可以,但是一般地认为取 (-) 侧作为参考电位表示起来简单些。”

[0]

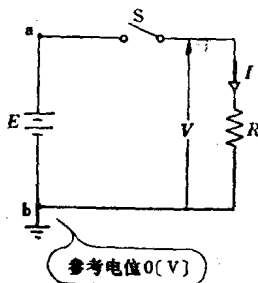
[] 中的内容是左侧问题的答案,下同。

4 把参考端点连接到大地上称为接地,接地的图形符号采用 $\perp$ 来表示。

就是说,把标有 $\perp$ 符号的连接点的电位认为是 (a) [V]。

图中,为了把 b 点取作参考电位,即将该点 (b) 接地。

在这个电路中,从开关闭合的瞬间起随着时间的推移,加于电阻 R 上的电压和流过 R 中的电流,其大小和方向可用作图表示出来,首先,我们就来学习这种明了易懂的作图表示法。



(a) [0]

(b) [接地]

噢!这是一个接地的图形符号吧。

“是的,有时也用

力的符号,这时也认为该点为参考电位 0[V]。”

5 为了作图表示电压和电流与时间的关系，特作如下规定：

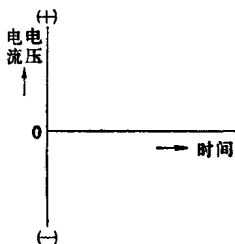
规 定

(1) 把时间取在横轴上。

(2) 电压和电流的大小取在纵轴上，并令代表时间的横轴为 0 电平（参考电位）。

(3) 所要表示某点的电位与参考点电位的电位差为正值时，取在 0 电平的上方，为负值时取在下方。

(4) 以一个预先选定的方向作为正方向，电流沿着这个方向流动时取在 0 电平的上方，沿着相反方向流动时取在 0 电平的下方。



时间是横轴，电压和电流的大小是纵轴！

6 回到图 a 上来，试作图表示电阻 R 的端电压 V 和电流 I 。

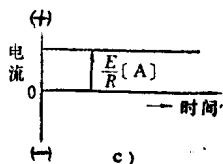
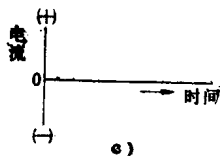
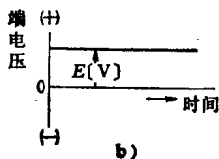
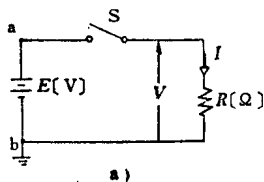
令开关 S 投入的时刻为零。

因为 b 点是参考电位 0 [V]，所以 a 点的电位比 b 点升高 E [V]，且其状态不随时间而变化。

因此，端电压 V 如图 b 所示。

另一方面，根据欧姆定律，电流 I 的大小等于 E/R [A]，其方向是由 a 点经过电阻 R 流向 b 点。如将这个方向规定为正方向，并作图表示电流，就得到纵轴的 (+) 方向。

那末，请将电流 I 画在图 c 上。

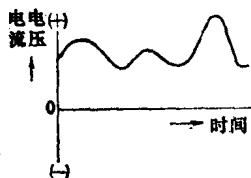


的确，电压和电流在这种场合保持定值。

“在直流中，电压、电流的大小也不一定要保持固定值。

请看下面”

7 前面所学过的电压和电流,其大小保持恒定,这种直流称为平流。不过,在直流中,亦有如图所示的称为脉流的电压和电流。这种脉流,方向虽然固定,但大小却随时间而变化。



果然…
也有方向固定,而大小变化的直流!

8 如取电源的一端作为参考电位,随着时间的推移,另一端的电位在某段时间为正值,而在另一段时间为负值,这种作规律性变化的电压就是交流电压。

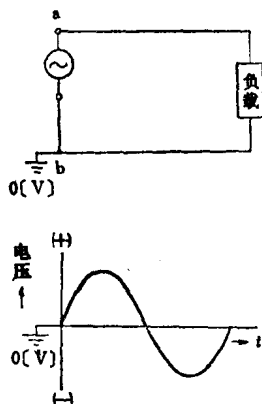
知道了吧…
交流电时而为 (+)
时而为 (-) 地交变着。

9 交流电源的图形符号是 $\text{---} \bigcirc \text{---}$ 。圈中的波浪纹~表示电源的端电压是周期性地进行_____。

[变化]

10 如将交流电源的一端 b 接地并作为参考电位 (a) _____ [V], 则另一端 a 的电位随着时间的推移在某段期间内为 (b) _____ 值, 过了一定时间又变成 (c) _____ 值。

如果将这种变化表示在图上,就得到如图所示的曲线。

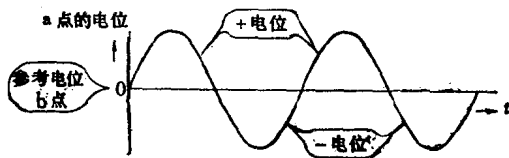


(a) [0]

(b) [+ 或正]

(c) [- 或负]

11 把交流电源的一端保持为参考电位时,电源另一端的电位时而为+,时而为-,这说明电位和 a—b 间电压的方向是变化的。



12 a 点的电位相对于参考电位为 0 [V] 的 b 点是 + 值时, 按规定画在纵轴的 (a), 当 a 点的电位为 - 值时画在纵轴的 (b)。

并且, 把 (c)

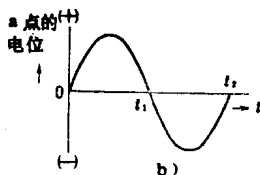
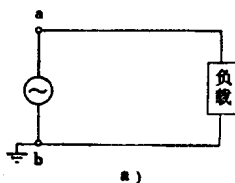
取在横轴上, 把横轴作为时间轴来表示时间的推移。

图 b 是表示 a 点的电位变化状态的曲线, 它表示了一个交流电压的波形。

我们把这种图形称为波形图。

在这个波形图上, 从 0 到 t_1 这段时间, a 点的电位是 (d)

值, 从 t_1 到 t_2 之间, a 点的电位变为 (e) 值。



(a) [上方 (+)]

(b) [下方 (-)]

(c) [时间 (t)]

一看波形图, 交流的状态就清楚了!

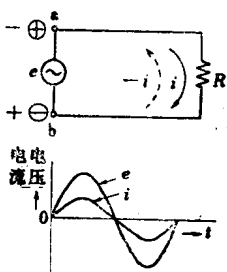
(d) [正]

(e) [负]

13 若将电阻 R 作为负载接到交流电源上, 则有一个由交流电源电压的大小和负载的大小所决定的电流流过电路中。

和直流电路一样, a 点的电位为 + 值时, 电流从 (a) 点经过负载流向 (b)

点, 当 a 点的电位为 - 值时电流的方向与上述的相反。



(a) [a]

(b) [b]

“因为电压的方向改变了, 所以电流的方向也随着改变!”

14 如果电源是一个交流电压, 则流过电路的电流也是一个交流电流。我们把从电源的 a 端经过负载流到 b 端电流的方向作为正方向, 并且表示为 i (+ i)。

“电流波形与电压波形相似吧!”

15 交流这个术语, 是交流电流的简称。因为在英语中交流电流是 “Alternating Current”, 所以通常用 A.C 表示交流电。

可是, 习惯上我们把交流电流与交流电压统称为交流电, 所以, 在用 A.C 表示交流电时, 既包括交流电流也包括交流电压, 请记住。

交流电压 } 统称为交流电, 并简称为 A.C
交流电流 }

直流电表示为 D.C

交流电表示为 A.C

16

交流电的定义

交流电的定义是指：其大小和方向作周期性变化的电压或电流。

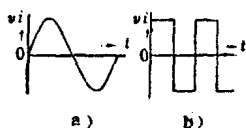
“请牢记！”

17 所谓交流电，就是电压和电流的大小与（a）作周期性的变化。

在图中，大小和方向作周期性变化的是图 a、图 b、图 c。

因此，它们属于（b）。

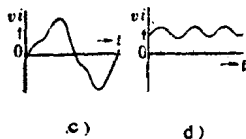
图 d 所示的波形，虽然大小有变化，但方向不变。所以它仍属于直流（脉流）（参阅第 7 格）。



(a) [方向]

(b) [交流]

“懂了吧！”

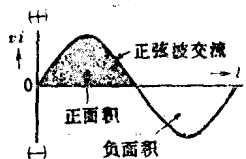


(c)

(d)

18 大小与方向作周期性变化的交流波形，如图 17 所示称为正弦波 (Sine wave)。

这个波形的正面积与负面积相等，故其平均值等于_____。



[零]

这种形状的交流波称为正弦交流波！

19 如果简单地说到交流波，通常指的就是正弦交流波。

我们把正弦波以外的交流波称为非正弦交流波。

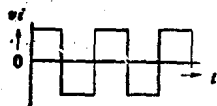
交流波 { 正弦交流波
非正弦交流波

第 17 格的图 b、c 是

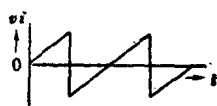
非正弦交流波。

“是的！”

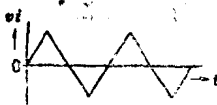
20 常见的非正弦交流波中，有下列几种波形，其名称分别如图所注。



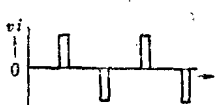
(a) 矩形波



(b) 锯齿波



(c) 三角波



(d) 脉冲波

“注意各个波形的形状及其名称。”

的确

图 a 是一个方形波即矩形波！

图 b 实在象“锯子”的齿！

图 c 三角波是因为波形是三角形！

图 d 所示的称为脉冲波形！