

交流电

贺德昌 曾杰 编

人民教育出版社

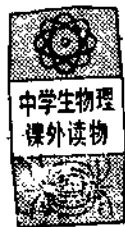


中学生物理
课外读物



交流电

贺德昌 曾杰 编



人民教育出版社

中学生物理课外读物

交 流 电

贺德昌 编
曾 杰

*

人民教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京顺义冠中印刷厂印装

*

开本787×1092 1/32 印张3.375 字数67,000

1989年 8 月第1版 1989年 8 月第1次印刷

印数 1—1,205

ISBN 7-107-10264-8

G·1175 定价 0.90 元

引 言

电能的广泛应用，是现代社会生活的重要标志之一。目前人们所用的电，大都是交流电了。然而，从电能生产和应用的发展过程来看，早期的情况恰好同现在相反：在历史上，直流电与交流电还有过一段竞赛史话。

19世纪30年代，法拉第发现电磁感应规律后不久，世界上最早出现的发电机就能发出交流电。可是在19世纪的大部分时间里，从事电能生产的工程技术人员却要在发电机上安装换向器把交流电变成直流电，再供给用户作照明用。当时不少人认为交流电不安全，只有直流电才有实际的使用价值。为此，在19世纪80年代发生过公开的激烈争论。1886年，美国威斯汀豪斯电气公司建立了一个为白炽灯照明供应交流电的系统，当时爱迪生就指责过交流电不安全，理由是它采用高压输电。尽管如此，威斯汀豪斯的设施仍然继续发展。因为它不但没有发生什么重大事故，而且生产电能的成本比供应直流电的爱迪生公司便宜得多。为了证实交流电的安全性，1888年特斯拉专门举行了记者招待会，他当场让交流电从“特斯拉线圈”流出，通过自己的身体点亮了电灯，使记者们看得入迷。于是人们相信使用交流电也是安全的。特别是随着电能需要的不断增长，直流电的一些缺

点，如换向器使大功率发电机的构造十分复杂，直流电不能变压等，便显得日益突出。因此进入19世纪90年代后，许多工业国家的发电厂都纷纷采用交流供电，从此交流电的应用就在世界上推广开了。

交流电之所以得到广泛应用，主要因为它和直流电相比有许多优点。例如，它可以通过变压器升压，实现远距离高压输电，减少电能损耗；又可以通过变压器降压，满足各种不同用电设备的需要；还可以直接驱动结构简单、运行可靠的感应电动机等。

发电机、电动机的发明和交流输电技术的进步，极大地改变着工业生产和社会生活的面貌，为迅速发展现代科学技术创造了有利条件。可以说，本世纪内涌现出的现代自动化生产、电子计算机、原子能工业、航天技术，等等，都是和电能的大规模生产与广泛应用分不开的。历史资料告诉我们，全世界电能生产的总量1900年是150亿度，大约经过半个世纪，就增长了100多倍，达到1955年的15510亿度；再经过30年，到1986年，又增长了6倍多，达到93750亿度以上。所以人们常常把20世纪叫做电的时代。

在结束这篇引言的时候，应当指出，现代的超高压远距离输电，又以采用直流电为好。尤其是近年来超导体研究不断出现重大突破，使得实现远距离无损耗地传输巨大直流功率，有了更大的可能性。我们知道，目前使用的输电线都有电阻，因此在输电过程中要损耗25%至60%的电能。而超导体是没有电阻的导体，如果用超导电缆来输送电能，那就会在输电技术上引起重大变革。这一诱人的前景，本书将在正文中继续介绍。

本书联系现行高中物理的内容讲述交流电的知识。在课本的基础上，作了适当扩展和加深。如解释了交流电在纯电感和纯电容电路中电流和电压的位相关系，讲述了三相变压器的原理等。

本书结合基本知识讲述了许多实际知识，如小型发电站中如何选择发电机，变压器使用中应注意的问题，异步感应电动机的特性和使用方法等。联系了现代科学技术成就，如直流输电、直线电机和磁悬浮列车等。

本书可供在校高中学生阅读，也可供中学教师备课时参考。

目 录

引言.....	1
---------	---

一、交 流 电

1-1. 交流电跟直流电的区别.....	1
1-2. 各种各样的交流电.....	2
1-3. 漫谈交流电的频率.....	5
1-4. 计量交流电的简便方法.....	8
1-5. 怎样理解交流电的相和相差.....	10

二、交流发电机

2-1. 从发电机的雏形谈起.....	15
2-2. 发电机构造的两种基本形式.....	17
2-3. 发电机怎样产生频率为 50 赫的交流电.....	18
2-4. 怎样为小型电站选择合适的发电机.....	20
2-5. 大型发电机及其发热和冷却.....	22
2-6. 发电机的前景展望.....	25

三、交 流 电 路

3-1. 交流电路跟直流电路的区别.....	28
------------------------	----

3-2.	纯电阻电路的特点	
	——电流和电压的变化步调完全一致	29
3-3.	纯电感电路的特点	
	——电流的变化步调比电压“落后一步”	30
3-4.	纯电容电路的特点	
	——电流的变化步调比电压“超前一步”	35
3-5.	感抗和容抗的应用举例	37
3-6.	什么是交流电的集肤效应	39

四、交流电的功率

4-1.	交流电功率的特点	42
4-2.	有功功率、视在功率和功率因数的数量关系	43
4-3.	应用功率概念的例子	44
4-4.	提高功率因数的意义	45
4-5.	怎样来提高功率因数	47

、变 压 器

5-1.	从法拉弟的实验谈起	49
5-2.	变压器的基本公式	50
5-3.	小型变压器的构造和使用	54

、电能的输送

6-1.	历史上的交直流输电之争	58
6-2.	向更高的电压迈进	61
6-3.	重新崭露头角的高压直流输电	63

七、三相交流电

- 7-1. 三相交流电的产生.....9
- 7-2. 三相电路的联接.....72
- 7-3. 安全措施——接地.....81

八、电动机

- 8-1. 阿喇果的实验.....24
- 8-2. 生产中常用的电动机
——三相感应电动机.....86
- 8-3. 家用电器中常用的电动机
——单相感应电动机.....93
- 8-4. 直线电动机和超导磁悬浮列车.....94

一 交流电

1-1. 交流电跟直流电的区别

交流电是交变电动势、交变电压、交变电流的总称，它具有强度和方向都随时间作周期性变化的特点。在图 1-1 所示的电路中，交流电源的两个电极的极性是周期性地改变的。一会儿电极 A 是正极， B 是负极（图 1-1 甲）；过一会儿， A 变成负极， B 变成正极（图 1-1 乙）。换句话说，交流电源没有固定的正、负极，电流在某一段时间内由 A 到

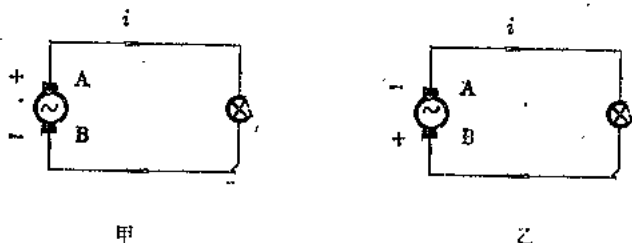


图 1-1

B ，在另一段时间内便反过来由 B 到 A 。同时在各段短时间内，电流强度也在不断变化。电压和电流随时间作周期性变化，这是交流电的本质特点，也是它跟直流电的显著区别。

1-2. 各种各样的交流电

工厂里发出的交流电，它的大小、方向随时间变化的情况，虽然不容易被人们直接察觉，可是，利用示波器就能把这种交流电的图象(叫波形图)显示出来。从波形图(图1-2)上可以看出交流电什么时候变大，什么时候变小，什么时候为零，什么时候为正，什么时候为负，等等。这种交流电($e = E_m \sin \omega t$ 或 $i = I_m \sin \omega t$)是按正弦规律变化的，叫做正弦交流电。

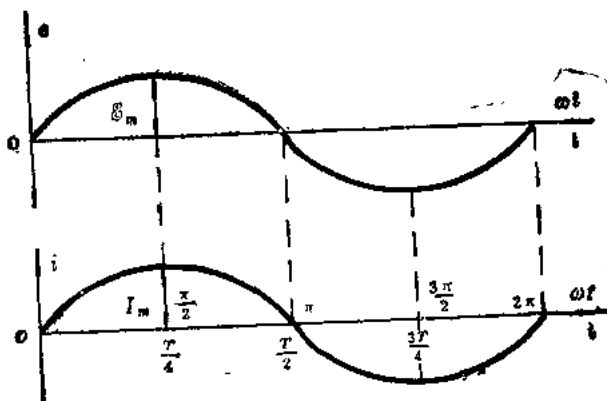


图 1-

在学校里，我们曾经做过把一个磁铁插入或退出螺线管，从而在螺线管中产生感生电流的实验。由于感生电流只是在插入或退出螺线管时才产生，所以当把磁铁一会儿向下

插入，一会儿又向上退出螺线管时，通过螺线管的也是一种交流电。这种交流电的变化有点象人的脉搏跳动，它的波形如图 1-3 所示。

电视机的显象管外面套有两组马蹄形线圈，又叫偏转线圈（图 1-4）。当线圈中有变化的电流通过时，就可以形成偏转磁场，使从阴极射到荧光屏上的电子

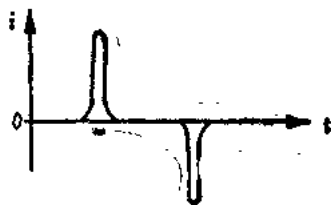


图 1-3

束向左右和上下方向来回地扫描，在荧光屏上形成光栅。通过偏转线圈的交流电，它的波形有点象锯齿，如图 1-5 所示。

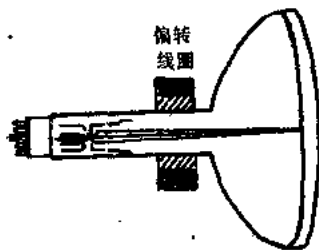


图 1-4

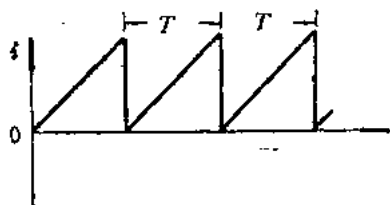


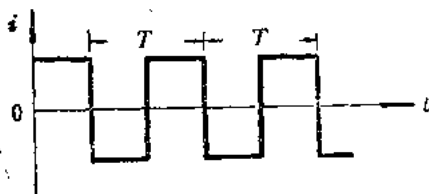
图 1-5

电视机里的交流电，不仅有包括正弦波在内的上述几种波形，还有如图 1-6 所示的方波等。

当你对着电话机的送话器讲话时，你的声音通过空气振动，推动送话器的金属片随着振动，从而引起线路里的电阻变化，又引起电压（电流）的变化。这是一种随声波变化而

变化的交流电，它的波形自然就很复杂了。

各种各样的交流电，大体上可以分为正弦交流电和非正弦交流电两类。在非正弦交流电中，有些也是



做周期性变化的，但并不按正弦规律变化，如图 1-5 和图 1-6 所示的锯齿形波、方波等。

图 1-5

发电厂里发出的交流电，要尽可能使它的波形是正弦波。如果实际波形跟正弦波相比失真过大，结果就会使发电机、电动机和输电线路的损耗增加，效率降低，并且很容易在线路中发生过电压现象，还会对邻近线路的通信网络产生干扰。因此，在工程技术上要求：发电机实际发出的电动势跟正弦波的差值 Δe 与正弦波最大值（又叫幅值） $\mathcal{E}_m$ 之比（图 1-7），不能超过百分之几。发电机的容量越大，就更要保证它的电动势具有正

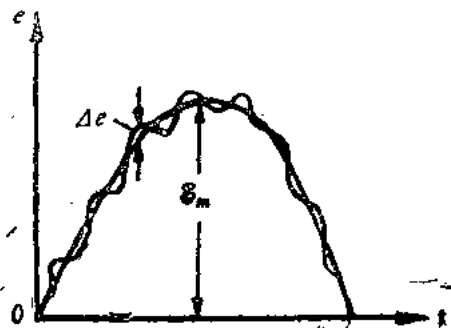


图 1-7

弦波形。这是设计电机的时候，必须注意解决的一个重要问题。

正弦交流电在生产、生活中应用最广，它是交流电中最有代表性的，所以我们要着重研究正弦交流电。今后，当提到交流电时，如果没有特别说明，都是指正弦交流电。

1-3. 漫谈交流电的频率

频率和周期都是用来描述交流电变化快慢的物理量。如果交流电的变化很快，它的周期就非常短，在这种情况下，用频率来表示交流电变化的快慢，自然更方便些。

当世界上只有很少的电厂生产交流电，而且只把交流电用于照明时，频率的重要性还并不显得突出。那个时候，各个国家也没有规定统一的频率标准。随着交流电的应用日益广泛，特别是工厂里需用它来驱动感应电动机，从而带动各种工作机械时，由于感应电动机的转速随交流电的频率而变化，要是没有一个统一的频率标准，就会给生产造成很大困难。例如，一台按频率 50 赫设计制造的感应电动机，如果所接电源的频率是 60 赫或比 50 赫小许多，那么这台电动机就不能正常运行了。因此，许多国家都先后给本国的电力工业部门规定了标准频率（又叫工频）。我国和苏联等大多数国家规定常用交流电的频率是 50 赫；有些国家，象美国、加拿大和日本（西部地区）规定的频率是 60 赫。为什么各个国家要采用 50 赫或 60 赫作工频交流电的频率呢？

因为交流电通过导线时，电流的分布并不均匀，导线表面的电流密度较大，导线内部的电流密度较小，这种现象叫做交流电的集肤效应（后面要专门介绍）。交流电的频率越

高，集肤效应就越显著。集肤效应的影响相当于减小导线的有效面积，增大导线的电阻，这会降低导线的利用率，增加金属材料消耗。但是，人们从实验中发现，当交流电的频率不超过 50 赫或 60 赫，所用铜导线的直径又不太大时，集肤效应的影响就很微弱了。

交流电的频率过低，对生产、生活也不利。可以设想，假定用于照明的电流频率为 1 赫，这就意味着通过白炽灯的电流每秒钟经历一次变化的全过程：在 1 秒钟内，电流达到最大值时，电灯最亮，电流为零时，电灯熄灭。由于电流变化的周期长，就会造成灯光时明时暗，使人的视力受到损伤。而当采用 50 赫和 60 赫的频率时，电流变化的周期大大缩短，当电流为零时，白热的灯丝还来不及冷下来，随后出现的电流又会使它发光。这样，人眼就不会感到灯光时明时暗了。交流电的频率过低，还会给生产带来不利。例如，设计制造一定容量的变压器，在其他条件相同只是电源频率低于 50 赫的情况下，要使变压器的容量达到设计要求，就要消耗更多的材料，感应电动机的转速也会因电源频率过低而大大降低。此外，还有其他一些问题（如频率过低，电容器对交流电的阻碍作用很大，等等），也需要从技术上认真考虑，全面衡量。总之，在选择交流电的频率时，必须对技术上、经济上的种种问题进行综合研究，才能找出合理的标准。

以上说明，人们采用 50 赫和 60 赫作常用交流电的标准频率，并不是凭空定下来的，而是通过生产实践和科学研究得到的结果。

工农业生产和科学实验，对工频交流电频率的稳定性要

求相当严格，其变动范围最大不能超过 ± 1 赫，否则将严重影响用电设备正常工作。例如，我们在物理实验中用电磁打点计时器打点，是按交流电的频率为 50 赫、周期为 0.02 秒来计算的，如果电源频率不合规定，势必给实验带来误差。又如，我国规定电视的场扫描（垂直扫描）频率与工频交流电是一致的，即每秒钟内图象信号应在电视机的荧光屏上由上而下地传送 50 次（50 赫）。如果电源频率波动太大，就会使电视机屏幕上的图象紊乱而不稳定，令人无法收看。

更为重要的是，频率过低，意味着发电机在低频率运行。这种情况，不但会使许多工厂因感应电动机的转速降低，造成产品质量下降（如纺织品、纸张等将产生毛疵和厚薄不匀），而且也会危及电厂自身的安全。在第二次世界大战期间和战后一段时间内，英国由于电源不足，电厂曾较长时间低频率运行，一般是 49 赫，最低达 47.9 赫，结果使许多台汽轮机的叶片因振动加剧受到损伤，甚至断落。前些年，我国有些电厂也曾经发生过类似事故。由此可见，工频交流电的频率是否符合规定，既是衡量电能生产质量高低的一项重要指标，又是关系着发电厂安全运行的重要因素。

除了工频交流电以外，根据不同的需要，一些技术部门还使用着各种不同频率的交流电。如电热用的频率在 50 赫 ~ 100 兆赫范围内；低频无线电波的频率在 30 千赫 ~ 300 千赫范围内，中频在 300 千赫 ~ 3 兆赫范围内，高频在 3 兆赫 ~ 30 兆赫范围内；我国电视发射频率在甚高频段为 48.5 兆赫 ~ 223 兆赫；微波通信的频率则高达 300 兆赫 ~ 3000 兆赫。

顺便说说，在技术上或某些无线电设备上，常用“周

(c)”，“千周 (kc)”、“兆周 (Mc)”等来表示频率的单位。例如，一些收音机上就是这样标注频率单位的。请注意，这是周/秒、千周/秒、兆周/秒的简略说法。

1-4. 计量交流电的简便方法

我们知道，交流电的大小是随时间变化的，变化的范围在零到最大值之间。那么，表示交流电的大小应以哪个数值作标准呢？用瞬时值行吗？不行。因为交流电在各个时刻的瞬时值不一定相同，加以瞬时值又很难用仪表测量，而且除特殊情况外，知道交流电的瞬时值并没有多大用处。用最大值行不行？交流电的最大值虽然是恒定的，也很重要，但在绝大部分时间内，交流电的数值都比最大值小。可见，用最大值也不好。那该怎样办呢？

人们从大量实践中发现，电流通过电阻产生的热效应跟电流的方向没有关系，而电流的热效应又正是人们在生产技术中十分关心的问题。因此，根据电流的热效应来间接地确定交变电流的大小，是符合实际需要的。具体办法是：让某一个直流电流和某一个交变电流通过同样阻值的电阻，通电的时间相同，如果它们产生的热量相等，我们就说这两个电流等效，并用这个直流电的电流强度大小来表示该交变电流的值，叫做交变电流的有效值。进一步讲，当提到某一交变电流的有效值为 2 安时，是指这个交变电流通过电阻时将电能转化为热能的效果，跟电流强度为 2 安的直流电完全一样。同理，交流电压的有效值，也是从跟直流电压等效的意义上说的。例如，把两个额定电压 220 伏且功率相同的白炽灯泡，分别接到直流电压为 220 伏和交流电压的有效值为