

中国大百科全书

电工与电子技术

中国大百科全书出版社

中国大百科全书

电工与电子技术

中国大百科全书出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国大百科全书. 电工与电子技术 / 陈佳圭主编.
—北京: 中国大百科全书出版社, 2012.1

ISBN 978-7-5000-8723-6

I. 中… II. 陈… III. ①百科全书—中国—现代

②电工—百科全书 ③电子学—百科全书 IV. ①Z227

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第247733号

中国大百科全书 电工与电子技术(第二版)

中国大百科全书出版社出版发行

(北京阜成门北大街17号 邮编: 100037)

<http://www.ecph.com.cn>

北京嘉年正稿图文设计有限责任公司 制版 涿州市星河印刷有限公司 印刷

2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

开本: 889×1194 1/16 印张: 42.5

字数: 2056千字 印数: 1500

ISBN 978-7-5000-8723-6 定价: 280元

《中国大百科全书》第二版总编辑委员会

顾问 (按姓氏笔画顺序)

丁光训	马大猷	王朝闻	巴 金	艾中信	叶笃正	任美锷
任新民	苏步青	杨宪益	沈 元	启 功	张 庚	张 震
张岱年	陈永龄	陈翰笙	季 龙	周有光	荣高棠	段学复
侯祥麟	饶宗颐	费孝通	夏征农	钱令希	钱学森	唐振绪
萧 克	曾呈奎					

主 任 周光召

副主任 (按姓氏笔画顺序)

于友先	于光远	贝时璋	石宗源	江蓝生	许嘉璐	孙家正
李从军	杨牧之	吴阶平	邹家华	宋 健	张定发	陈至立
季羨林	金立群	周 济	钱伟长	徐匡迪	徐冠华	徐惟诚
梅 益	葛振峰	路甬祥				

委 员 (按姓氏笔画顺序)

于友先	于光远	王 选	王大中	王希季	王绶琯	贝时璋
甘子钊	石力开	石宗源	卢良恕	叶小文	叶叔华	田胜立
白和金	白春礼	宁津生	邢贲思	朱清时	任继愈	刘光鼎
刘国光	刘继贤	齐 康	江 平	江蓝生	汝 信	许智宏
许嘉璐	孙关龙	孙家正	孙儒泳	苏纪兰	李从军	李廷栋
李国豪	李学勤	李政道	杨 乐	杨允中	杨芙清	杨牧之
杨振宁	杨焕明	杨福昌	杨福家	吴文俊	吴阶平	吴良镛
吴祖强	吴新智	何芳川	邹家华	汪家鼎	汪毓和	沈家煊
宋 健	张定发	陆学艺	陈 竺	陈士能	陈至立	陈佳洱
陈清泉	陈翰馥	陈耀邦	邵大箴	邵华泽	武 寅	季羨林
金立群	金冲及	金炳华	周 济	周光召	郑 度	郑必坚
郑哲敏	赵忠贤	荆其诚	荣广润	胡鸿烈	费开扬	袁伟民
袁行霈	袁隆平	聂震宁	顾明远	钱永昌	钱伟长	徐匡迪
徐冠华	徐惟诚	唐有祺	资华筠	黄宝生	黄枬森	梅 益
龚 莉	宿 白	葛振峰	嵇绍莹	路甬祥	管华诗	熊 焰
潘际銮	潘家铮	戴 逸				

《中国大百科全书》第一版总编辑委员会

主 任 胡乔木

副主任(按姓氏笔画顺序)

于光远	贝时璋	卢嘉锡	华罗庚	刘瑞龙	严济慈	吴阶平
沈 鸿	宋时轮	张友渔	陈翰伯	陈翰笙	武 衡	茅以升
周 扬	周培源	姜椿芳	夏征农	钱学森	梅 益	裴丽生

委 员(按姓氏笔画顺序)

丁光训	于光远	马大猷	王 力	王竹溪	王绶琯	王朝闻
牙含章	贝时璋	艾中信	卢嘉锡	叶笃正	包尔汉	冯 至
司徒慧敏	吕 骥	吕叔湘	朱洪元	朱德熙	任新民	华罗庚
刘开渠	刘思慕	刘瑞龙	许振英	许涤新	孙俊人	孙毓棠
严济慈	苏步青	李 珩	李国豪	李春芬	杨石先	杨宪益
吴于廑	吴中伦	吴文俊	吴阶平	吴作人	吴学周	吴晓邦
邹家华	沈 元	沈 鸿	宋 健	宋时轮	张 庚	张 震
张友渔	张含英	张钰哲	陆 达	陈世骧	陈永龄	陈维稷
陈虞孙	陈翰伯	陈翰笙	武 衡	茅以升	林 超	罗竹风
季 龙	季羨林	周 扬	周有光	周培源	孟昭英	赵朴初
荣高棠	胡 绳	胡乔木	胡愈之	柳大纲	段学复	侯外庐
侯祥麟	俞大绂	姜椿芳	宦 乡	费孝通	贺绿汀	夏 衍
夏 鼐	夏征农	钱令希	钱伟长	钱学森	钱临照	钱俊瑞
倪海曙	殷宏章	翁独健	唐长孺	唐振绪	陶 钝	黄秉维
萧 克	梅 益	曹 禺	董纯才	程裕淇	傅承义	曾世英
曾呈奎	谢希德	裴丽生	潘 菽	潘念之		

《中国大百科全书·电工与电子技术》第二版编辑委员会

主 任 周光召

副主任 陈佳圭 刘 继

委 员 (按姓氏笔画顺序)

丁 雁
王义道
区建昌
朱良镭
刘细华
李 捷
李志坚
何金良
张开荪
陈水明
范宝新
周昭茂
姚思立
郭开周
舒印彪
戴念祖

力 一
王贞松
文习山
任 朗
许 颖
李 颖
杨迎健
余道衡
张凤祥
陈光辉
林华咨
周壁华
聂玉昕
唐统一
舒廉甫
濮方正

马 安
王宇宁
龙咸灵
刘吉克
孙祥义
李 静
吴全德
邹谋炎
张运鹏
陈维江
卓 力
孟洛明
党镇平
黄毅诚
曾志聪

戈东方
王守武
包炳生
刘园园
孙嘉平
李元明
吴维韩
沈兰逊
陆宠惠
陈熙谋
易卫东
赵 贺
徐忠厚
曹则贤
潘 森

马宏达
王德言
吕保维
刘尚合
寿祝昌
李光范
邱传睿
张 健
陈太一
陈燊年
周孝信
洪兴楠
徐积仁
龚中麟
薛其坤

《中国大百科全书·电工与电子技术》第二版主编、副主编

主 编 陈佳圭

副主编(按姓氏笔画顺序)

刘 继* 杨芙清 沈兰逊 张开荪 陈翰馥 唐统一

(带*为常务副主编)

电工各分支编写组

综 合	孙嘉平	马宏达		
电磁学基本理论	陈熙谋	聂玉昕		
电工材料	仲志英			
电磁测量	唐统一	丁 雁		
电 器	姚思立	党镇平		
电 机	李昌强	刘 继		
发电与发电动力系统	马 安	舒廉甫	刘 继	
电力系统	周孝信	赵 贺	寿祝昌	郑美特
高电压技术	刘 继	杜樹春	朱家骝	陈水明

电子技术各分支编写组

天线与电波传播	龚中麟	王贞松
信息论	邹谋炎	
图像与数字信号处理	沈兰逊	

电子电路	陈佳圭		
固态电子理论及器件	李树森	张开荪	陈佳圭
通 信	王贞松	孟洛明	
真空电子学	郭开周		
计算机科学	杨芙清	沈兰逊	
自动控制	陈翰馥	张开荪	

《中国大百科全书·电工与电子技术》第二版编写者

(按姓氏笔画顺序)

丁 雁
王 忱
王宇宁
王鼎鹤
龙威灵
冯德兴
朱太平
刘 继
刘振亚
孙嘉平
杜 兴
李志超
李建民
杨义先
肖达川
吴南屏
沈兰荪
张 健
张和康
陆建勋
陈廷杰
陈敏逊
陈翰馥
林必樑
金以慧
孟洛旺
赵松年
费翔林
夏祖治
徐士珩

丁晓青
王一平
王守武
王新霞
卢 强
司徒梦天
朱良镠
刘子玉
刘普霖
纪越峰
杜小勇
李迎新
李春文
杨级秋
肖华庭
吴振森
沈超泗
张开逊
张钧屏
陈太一
陈佳圭
陈道蓄
陈燊年
林华咨
周孝信
孟洛明
贲可荣
秦世引
顾培亮
徐积仁

力 一
王义道
王直华
尹达中
付斌杰
边肇祺
仲志英
刘元安
阮晓钢
寿祝昌
杜凤芝
李昌强
李爱国
杨芙清
吴 炯
吴鸿适
宋国宁
张友韬
张晋林
陈水明
陈佩祖
陈熙谋
邵丙衡
林金廷
周壁华
封举富
钟义信
秦复光
顾霓宏
高 龙

马 安
王元铭
王绶琯
尹达衡
乐光新
西门纪业
任 朗
刘志雄
孙祥义
严海康
李云章
李宝绶
李清泉
杨放春
吴世英
余道衡
张 灿
张至善
张梓华
陈文德
陈恩义
陈增强
范宝新
卓 力
郑美特
赵 贺
涂国防
聂玉昕
党建平
高传善

马 严
王贞松
王惠明
邓先灿
冯钰珉
吕保维
刘 钢
刘尚合
孙道云
苏 森
李志坚
李宗超
杨大成
杨乾声
吴全德
邹谋炎
张 奇
张利华
陆志梁
陈火旺
陈海明
陈德元
茅于宽
易卫东
郑逢时
赵志法
洪兴楠
夏建国
钱家骊
高春熙

黄琳
黄祥林
黄彭明晨
董温美
程代展
童志鹏
熊皓
薛金柱
戴念祖

黄一
黄校垣
龚中麟
董逸生
程虎
焦培南
廖复疆
薛其坤
戴国忠

唐统一
黄秉宪
戚庆成
董士海
韩崇昭
焦垣生
蔡莲红
薛长立
戴汝为

郭开周
黄永宣
曹则贤
葛景滂
韩文俊
傅维明
褚健
潘威炎
戴兆康

高德
黄永宝
曹东启
彭肇乾
蒋君章
程景云
谢处方
稽兆钧
霍伟
瞿文安

前言

编纂出版《中国大百科全书》是中国科学文化事业一项重要的基础工程。

中国自古以来就有编辑类书的传统，两千年来曾经出版过四百多种大小类书。这些类书是中国文化遗产的宝库，它们以分门别类的方式，收集、整理和保存了中国历代科学文化典籍中的重要资料。这些书受到中国和世界学者的珍视。各种类书体例不一，多少接近百科全书类型，但不是现代意义的百科全书。

18世纪中叶，正当中国编修庞大的《四库全书》的时候，欧洲法、德、英、意等国先后编纂出版了现代型的百科全书。之后，美、俄、日等国也相继出版了百科全书。现代型的百科全书扼要地概述人类过去的知识和历史，并且着重地反映当代科学文化的最新成就。二百多年来，各国编纂百科全书积累了丰富的经验，在知识分类、编辑方式、图表配置、检索系统等方面日益完备和科学化。百科全书的出版在普及科学知识，推动科技创新和社会进步，促进文化交流等方面起着十分重要的作用，已经成为人们学习、工作和生活的必需品。

一向有编辑类书传统的中国知识界，也早已把编纂现代型的百科全书作为自己努力的目标。20世纪初就曾有人试出过几种小型的实用百科全书，但是这些书都没有达到现代百科全书的要求。

中华人民共和国建立之初，当时的出版总署曾考虑出版中国百科全书，稍后拟定的科学文化发展十二年规划也曾把编纂出版百科全书列入规划，1958年又提出开展这项工作的计划，但都未能实现。

1978年，国务院决定编纂出版《中国大百科全书》，并成立中国大百科全书出版社负责此项工作。此后，《中国大百科全书》第一版各学科分卷陆续出版，至1993年，全书所有学科分卷出齐。《中国大百科全书》第一版的出版结束了中国没有百科全书的历史，被誉为“中华文化的丰碑”，成为20世纪末中国科学文化事业繁荣发达的一个标志。《中国大百科全书》第一版《电子学与计算机》卷、《自动控制与系统工程》卷正是在这种大环境下，于1987年出版。

《中国大百科全书》第一版出版以来，人类社会发生了急剧的变化，各领域的知识

大幅度更新。因此,《中国大百科全书》的修订重编成为一项紧迫的任务。1995年,国务院批准《中国大百科全书》第二版立项编纂,并列入“九五”、“十五”国家重点图书出版规划。2006年,《国家“十一五”时期文化发展规划纲要》也将《中国大百科全书》第二版的编纂列为国家重大出版工程。经过全国专家、学者和编辑出版人员的共同努力,《中国大百科全书》第二版于2009年3月正式出版。

《中国大百科全书·电工与电子技术》第二版是在《中国大百科全书》第二版“电力工程、电子学、计算机科学、自动控制”部分的基础上,对其内容进行了增补、修订、数据更新后的修订重编版。该书比较详尽地叙述和介绍当代的电工与电子技术知识,是反映电工与电子技术最新研究水平的新一代百科全书。在继承第一版的编纂原则和编写理念的基础上,设条和行文更注重综合性和检索性,介绍知识既坚持学术性、准确性,又努力做到深入浅出,具有可读性,适于中等及其以上文化程度的读者查检和阅读,也为全社会各个领域的读者综合运用已有知识成果,并继续有所创新提供了桥梁和阶梯。

《中国大百科全书·电工与电子技术》第二版的条目在编排上不按学科分类排列,而是按条目标题的汉语拼音字母顺序排列,同时附加条目分类目录、条目标题汉字笔画索引、条目外文标题索引、内容索引,并在附录中提供电工与电子技术大事年表,使读者更加便于寻检查阅。

《中国大百科全书》的编纂工作是在党中央、国务院的关怀下和全国各学科、各领域、各部门的专家、学者的积极参加下进行的,并得到国家各有关部门,全国科学文化研究机关、学术团体、大专院校等单位的大力支持。这是全书编纂工作能够持续进行的有力保障,在此谨致以诚挚的感谢。

《中国大百科全书》的编纂出版,采取连续修订的方式。每一版的编纂工作都十分浩繁,差错和疏漏在所难免,欢迎广大读者给予批评指正,以便在今后的编纂工作中不断改进和完善。

凡 例

1. 条目是全书主体，一般由条目标题、释文和相应的插图、表格、推荐书目等组成。

2. 条目按条目标题的汉语拼音字母顺序排列。第一字同音时按声调顺序排列；同音同调时按汉字笔画由少到多的顺序排列；笔画数相同时按起笔笔形横（一）、竖（丨）、撇（丿）、点（丶）、折（乚，包括乚、乚、乚等）的顺序排列。第一字相同时，按第二字，余类推。条目标题中夹有外文字母或阿拉伯数字的，依次排在相应的汉字条目标题之后。以拉丁字母、希腊字母开头的条目标题，依次排在全部汉字条目标题之后。

3. 介绍本学科内容的总论性文章列在条目分类目录之前。

4. 为便于读者了解本卷的全貌，正文前列有全部条目的分类目录。分类目录还适当的考虑了条目间的层次关系。如：

电路	141
电路基础	144
电路计算方法	144
回路电流法	255

5. 条目标题一般为词或词组，如“软件”、“虚拟现实”。

6. 条目标题一般由汉语标题和与汉语标题相对应的汉语拼音、外文三部分组成。如：

cichang
磁场 magnetic field

条目标题为书名或需加书名号的，其外文以斜体字排出。如：

Dianji Gongcheng Xuebao
《电机工程学报》 *Journal of the Chinese Society of Electrical Engineering*

7. 条目标题外文主要为英文，或与其相应的拉丁字母转写形式。

8. 释文一般依次由定义和定性叙述、词源、简史、基本内容、研究状况、插图、表格、推荐书目等构成，视条目的性质和知识内容的实际状况有所增减或调整。

9. 一个条目的内容涉及其他条目并需由其他条目的释文补充的，采用“参见”的方式。所参见的条目标题在释文中用楷体字显示。如“现代变压器可分为电力变压器（图1）、专用变压器和特种变压器等”；未在释文中出现时，则另用括号加“见”字标出，如“由此，麦克斯韦总结出电磁场的普遍方程组（见麦克斯韦方程组）”。

10. 释文较长时，设置层次标题，并用不同的字体和排式表示不同的层次标题。
11. 插图包括照片、航摄图、遥感图、线条图等，随文编排。
12. 插图附图题、图注等说明文字。条目只配一幅图且图题与条目标题一致时，不附图题。
13. 全书条目正文后辑有电工与电子技术大事年表。
14. 全书附有条目标题汉字笔画索引、条目外文标题索引、内容索引等。
15. 全书所用汉字，除必须用繁体字和异体字的以外，以国家语言文字工作委员会 1986 年公布的《简化字总表》及规定为准。
16. 全书所用数字，执行国家标准 GB/T 15835—1995《出版物上数字用法的规定》。
17. 全书数学、物理、化学符号的用法执行国家标准 GB 3102.1~13—1993 等 13 个文件，并参考国际标准化组织的规定。
18. 全书所用地名，除历史地名外，一般以中国地名委员会审定的为准（含中国地名、外国地名）。历史地名后一般括注今地名。

电工与电子技术

陈佳圭

电工与电子技术主要包括电力工程、电子学、计算机科学、自动控制科学四个方面。

电力工程亦简称电工,它源于物理学中的电磁学,是研究电和磁及其相互作用并寻找客观规律的技术学科,在应用中逐渐发展形成了电力的产生、转换、分配、传输、使用和电工制造的工业体系。电子学也源于物理学,是研究电子的发射、行为及效果的技术学科,即研究电子的运动和电磁波及其相互作用的规律。电子学包含的范围十分广阔,几乎覆盖了电子行为的所有领域,具体的内容包含了有源器件的各种电子电路及其应用。

由于电子器件和技术的飞速发展,特别是固体器件的出现和电路性能的不断提高与超小型化,出现了按程序自动进行信息处理的计算机,其处理对象和结果都是信息(获取、储存、处理等)。信息在信源(发信者)、信宿(收信者)间的传输是通信。通信是研究载有信息的信号的产生、变换、处理、传输、交换和接收等的理论和技术。如果需要对一个系统或装置的信息在无人干预的情况下,按规定的程序或指令自动进行操作或控制,便有了研究控制系统的构成、分析和设计的自动控制。计算机和自动控制都因其发展特点和需要,已从电子学中分离出来,成为独立的学科而发展壮大,但它们仍然是电子技术的重要内容和支柱。

学科的发展概况

19世纪及以前的基础 有关电的记载可追溯到公元前6世纪,即摩擦起电现象的记录。1745年用来保存电的莱顿瓶出现。而后的20~30年,美国科学家B.富兰克林提出了电荷守恒定律,并进行了著名的天电风筝实验。1785年法国物理学家C.-A.de库仑的扭秤实验提出了库仑定律。此时,人们才从电的感性认识发展到对静电学的初步了解,即电可以获得,亦可以储存,而且证明了雷闪就是放电现象。这些结果的获得却经历了2 000多年时间。

由于放电现象不能获得持续的电流,电子的行为不能得到进一步的揭示,直到1800年意大利物理学家A.伏打创制了最早的化学电池,才能够提供可持续的电流。伏打电池发明之后,各国利用这种电池进行了各种各样的实验和研究,如电解水、电解氯化钾提取钾等。人们从电池放电现象中发现了电弧,这就是电用于照明的开始。100多年以后,美国发明家T.A.爱迪生于1912年试制成钨丝灯泡用于电照明。1936年发明荧光灯,光效率高,寿命长,易于制成各种彩色灯,从此照明技术发生了飞跃。

19世纪以前,科学界普遍认为电和磁是两种独立的作用。1820年起,丹麦物理学家H.C.奥斯特发现,在连接伏打电池的导线旁边放上一个磁针,磁针马上发生偏转,把线圈和磁针组合在一起便是电报机的雏形。从1820年到1845年的25年间,先后陆续建立了安培定律、欧姆定律、法拉第电磁感应定律、楞次定律、焦耳定律、基尔霍夫定律等。这些基本定律的建立,标志着进入了电工和电子电路的研究阶段。这是一个灿烂的时代,完成了直流电路的系统研究,对电子行为的规律也有了较深入的了解。由研究电、磁和它们之间相互作用的客观规律及其应用技术开始,确立了电子学和电工这一迅速发展的分支学科。

法国物理学家 A.-M. 安培建立了电流周围磁场方向的安培定律。1831 年英国物理学家 M. 法拉第建立了电磁感应定律：一个线圈中产生的感应电流与线圈在单位时间所切割磁力线的多少成正比。也就是说，若将导体置于有磁场的空间并流过电流，则磁场对导体产生作用力。利用这一原理制成了电动机。若导体在有磁场的空间中运动，导体中就产生电动势，发电机就是利用这一原理制成的。若使流过一个绕组的电流发生变化，则在另一绕组中感应出电动势，因而有了变压器。

到了 19 世纪下半叶，电子学在发展过程中有两个里程碑：一是 1859 年德国物理学家 J. 普吕克尔发现阴极发射，而后科学家们对此做了大量实验，1883 年爱迪生发现热电子发射现象，1897 年英国物理学家 J.J. 汤姆孙证明阴极发射的是带负电荷的粒子，从而导致了电子的发现。电子也可以通过外加电场、离子轰击或热电子发射过程从阴极射出，并可用电场或磁场对电子束加速、聚焦和偏转。二是英国物理学家 J.C. 麦克斯韦 1864 年提出了联系电荷、电流和电场、磁场的基本微分方程组，即麦克斯韦方程组。这个方程组概括了当时已知的关于电磁现象的一切实验结果，并预见了电磁波的存在，还提出了光的电磁理论，以及电磁波产生压力等现象。与此同时，荷兰物理学家 H.A. 洛伦兹于 1895 年建立电子论时指出，运动点电荷在磁场中受到力的作用，即洛伦兹力。洛伦兹力公式和麦克斯韦方程组以及物质的本构方程一起建立了经典电动力学基础。

19 世纪电子学进展所反映的应用成果主要是有线通信的发展和实用。英国担心拿破仑进攻本国及领地，曾用桁架式通信机报告法国军队的动向，这是有线通信的开始。当时的电报机除电磁式外，还有电化式法和英国的五针式等。1837 年，电报机在长达 20 千米的五根电线上投入使用。后来美国科学家 S.F.B. 莫尔斯采用继电器以驱动纸带并记录完成了商用电报机。电报的使用促进了电话的发明，1876 年美国的 A.G. 贝尔试验成功电话，1877 年爱迪生发明了阻抗式发话器，大大改进了电话的应用效果。电报、电话的出现推动了电工和电路理论的发展。1891 年，史端乔式自动交换机投入使用，而后，逐渐过渡到现在的电子交换机。1866 年，世界上第一条大西洋海底电缆铺设成功，现在世界的各个大洋中已遍布电缆。

19 世纪中叶，人们最关心的是电作为能源的开发和应用。发电机是将机械能转变为电能的装置。1832 年，法国的 A.H. 毕克西发明了手摇式直流发电机，其原理是通过转动永久磁铁使磁力线发生变化，在线圈中产生感应电动势。1866 年德国电气工程师 E.W. von 西门子发明了自激式直流发电机。1875 年世界上第一座火电厂安装在巴黎火车站供弧光灯照明。1888 年美国建成世界上第一座水电站。1891 年建成了由法国劳芬至德国法兰克福的第一条三相高压输电线路。该线路在始端有升压变压器，终端有降压变电站，输出效率在 80% 以上，有十分明显的技术优越性和经济效益。1896 年，美国发明家 N. 特斯拉的二相交流发电机在尼亚加拉水电站开始营运，容量 10 万千瓦、5 千伏的交流输出，一直把电能输送到 40 千米外的布法罗市。

电动机则是将电能转变为机械能的装置。1834 年美国的 T. 达文波特研制成第一台直流电动机。1838 年，这种电动机的电源用了 320 个电池，开动了一艘船。但这些电动机由于都用电池作电源，所以都未能达到应用标准。1886 年特斯拉利用旋转磁场的感应效应制成了三相电动机。1889 年俄国发明家 M.O. 多利沃-多布罗沃利斯基发明了三相鼠笼式异步电动机。

变压器是根据电磁感应定律将交流电变换成同频不同电压的设备。在输配电系统中，发电端向外输送电能时要把电压升高，到了用电端又得把送来的高压降低。1882 年，英国的 D.J. 吉布斯获得了“照明与动力用电的配电方式”专利，其内容就是将变压器用于配电，当时所用的变压器是磁路开放式变压器。美国发明家 G. 威斯汀豪斯引进了吉布斯的变压器并经过研究，于 1885 年开发出了实用的变压器。

1788年,英国发明家J.瓦特把离心式调速器与蒸汽机的阀门连接起来,构成蒸汽机转速的控制,从此人们开始采用自动调节装置,来对付工业生产中提出的控制问题。这些调节器都是一些跟踪给定值的装置,能使一些物理量保持在给定值附近。1854年,俄国的K.I.康斯坦丁诺夫发明电磁调速器。1868年,法国的J.法尔科发明反馈调节器。值得一提的是,1850年发明了二进制的布尔代数,构成了数字电子计算机四则运算的基础。

20世纪之后的发展 20世纪是电子学、电工、计算机和自动控制同步发展的辉煌时期。大致可分为三个阶段。

①20世纪初至30年代。这一阶段是电子学发展的关键时期。这是因为1904年英国物理学家J.A.弗莱明发明了真空二极管,1906年美国发明家L.德福雷斯特发明了真空三极管,首次实现了电子电流的放大,使电子学从直流的无源网络转变为有源器件构成的电子电路的研究,从有线的电话过渡到无线通信和电报的应用,开辟了一个崭新的领域。特别是在成功地进行了语言和音乐的无线电广播(332千米)和无线电通信以后,电磁波成为信息传送的主要载体,使人们的生活更加明快,因而在以无线通信和广播为主的时代,电子学被称为热门一时的“无线电”。随着电真空器件不断进步,如四极管、五极管、电子束聚焦等的研制和发现,进一步促进了电子电路的发展,如外差电路、滤波、负反馈放大器、石英晶体振荡器、光电摄像、宽带调频等基本电路的相继出现即为佐证。电子电路其实都是一个反馈控制问题,这方面实现了电路的频率、振幅、相位、增益、带宽、电平和动态范围等参数的控制。这一阶段具有标志性的应用有:1935年世界上第一台探测飞机的实用雷达(80千米)得到应用,美国的V.布什制造出第一台模拟计算机,第一台透射式电子显微镜问世,出现了热电汽轮机、变压器用硅钢片,建立起电话系统统计平衡模型和提出PID(比例积分微分)控制方法。在电子管时期,电子计算机主存储器主要用的是磁鼓和磁芯,软件用的是机器语言及汇编语言。

②20世纪30~60年代。该阶段半导体器件开始出现,促成电子学的迅速发展。锗点接触晶体管(1947)和结型晶体管(1949)的发明,标志着电子学在固体器件向小型化、多品种、高性能的发展中起到突破性的作用。而后又出现了隧道二极管、雪崩二极管、场效应晶体管、金属-氧化物-半导体器件、晶闸管等半导体器件,进一步带动了其他固体器件诸如铁氧体、磁芯、铁电体、磁泡、光电器件、表面波器件,以及激光器和全息技术等的发展。电真空器件因为有它的特殊优点和应用需要,先后研制出速调管、多腔磁控管和行波管等。1952年提出了集成电路的概念,到1959年美国实验物理学家J.S.基尔比实现了第一块集成电路的开发。

在理论研究上,1948年美国数学家C.E.香农提出信息论,美国数学家N.维纳出版《控制论》,提出最优控制、自适应控制、采样控制、统计决策函数等模型和理论,为计算机、信息技术、自动控制和通信技术提供了新的理论基础。这一阶段电子学的重大应用有:1945年提出“诺伊曼机”的设计思想;1946年建成世界上第一台电子计算机;1952年研制成第一台数控机床;1953年美国开始试播NTSC制彩色电视;1954年制出第一台工业机器人样机和建成第一台5000千瓦的核电站;1955年制成20万千瓦升压变压器;1957年英国研制成第一台扫描电子显微镜;1958年把太阳能电池作为人造卫星的电源,同年发射第一颗试验通信卫星;1960年发明第一台氦-氖红外气体激光器。

这一阶段,电子计算机完成了它的开拓过程,经历了从制作部件到整机、从专用机到通用机、从“外加式程序”到“存储程序”的演变。巨大的市场需求要求计算机性能必须提高,应用范围的扩大和生产的专业化促使计算机从电子学范畴中独立出来,成为计算机科学。如1946年美国宾夕法尼亚大学莫尔学院制成的世界上第一台电子计算机就是一个标志,它完全采用电子线路执行算术运算、逻辑运算和信息存储。但这种计算机的程序仍然是外加式的,存储容量也太小,尚未完全具备现代计算机的主要特征。一次重大的突破是由美国数学家J.冯·诺伊曼领导的设计