

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

火力发电职业技能培训教材

HUOLIFADIAN ZHIYE JINENG PEIXUN JIAOCAI

继电保护

火力发电职业技能培训教材编委会 编

紧贴职业技能鉴定
体现火电技术发展
突出实际操作技能



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

3023676/11

火力发电职业技能培训教材

继电保护

朱志宏 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本教材是根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》对火力发电职业技能鉴定培训的要求编写的。教材突出了以实际操作技能为主线、将相关专业理论与生产实践紧密结合的特色,反映了当前我国火力发电技术发展的水平,体现了面向生产实际的原则。

本教材基本上按《鉴定规范》中的火力发电运行与检修专业进行分册。全套教材总共15个分册,内容包括了《鉴定规范》中相关的近40个工种的职业技能培训。针对教材中的重点和难点,还将配套出版各分册的《复习题与题解》。

本教材的作者和审稿人均均为长年工作在生产第一线的技术人员,有较好的理论基础和丰富的实践经验和培训经验。

本书为《继电保护》分册,包括发电厂继电保护工种的培训内容。主要内容有:基础知识、继电保护的基础知识、继电保护基本技能、专门技能和相关技能。

本教材为火力发电职业技能鉴定培训教材,火力发电现场生产技术培训教材。也可供火电类技术人员及技术学校教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护/《火力发电职业技能培训教材》编委会编.
北京:中国电力出版社,2004
火力发电职业技能培训教材
ISBN 7-5083-2449-8

I. 继... II. 火... III. 电力系统-继电保护-技术培训-教材 IV. TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第089513号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

责任编辑:翟巧珍

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年12月第一版 2004年12月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 15.25印张 525千字

印数0001—4000册 定价29.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《火力发电职业技能培训教材》

编 委 会

主 任：周大兵 翟若愚

副主任：刘润来 宗 健 朱良镞

常 委：魏建朝 刘治国 侯志勇 郭林虎

委 员：邓金福 张 强 张爱敏 刘志勇

王国清 尹立新 白国亮 王殿武

韩爱莲 刘志清 张建华 成 刚

郑跃生 梁东原 张建平 王小平

王培利 闫刘生 刘进海 李恒煌

张国军 周茂德 郭江东 闻海鹏

赵富春 高晓霞 贾瑞平 耿宝年

谢东健 傅正祥

主 编：刘润来 郭林虎

副主编：成 刚 耿宝年

教材编辑办公室成员：刘丽平 郑艳蓉

前言

近年来,我国电力工业正向着大机组、高参数、大电网、高电压、高度自动化方向迅猛发展。随着电力工业体制改革的深化,现代火力发电厂对职工所掌握知识与能力的深度、广度要求,对运用技能的熟练程度,以及对革新的能力,掌握新技术、新设备、新工艺的能力,监督管理能力,多种岗位上工作的适应能力,协作能力,综合能力等提出了更高、更新的要求。这都急切地需要通过培训来提高职工队伍的职业技能,以适应新形势的需要。

当前,随着《中华人民共和国职业技能鉴定规范》(简称《规范》)在电力行业的正式施行,电力行业职业技能标准的水平有了明显的提高。为了满足《规范》对火力发电有关工种鉴定的要求,做好职业技能培训工作的,中国国电集团公司、中国大唐集团公司与中国电力出版社共同组织编写了这套《火力发电职业技能培训教材》,并邀请一批有良好电力职业培训基础和经验、并热心于职业教育培训的专家进行审稿把关。此次组织开发的新教材,汲取了以往教材建设的成功经验,认真研究和借鉴了国际劳工组织开发的MES技能培训模式,按照MES教材开发的原则和方法,按照《规范》对火力发电职业技能鉴定培训的要求编写。教材在设计思想上,以实际操作技能为主线,更加突出了理论和实践相结合,将相关的专业理论知识与实际操作技能有机地融为一体,形成了本套技能培训教材的新特色。

《火力发电职业技能培训教材》共15分册,同时配套有15分册的《复习题与题解》,以帮助学员巩固所学到的知识和技能。

《火力发电职业技能培训教材》主要具有以下突出特点:

(1)教材体现了《规范》对培训的新要求,教材以培训大纲中的“职业技能模块”及生产实际的工作程序设章、节,每一个技能模块相对独立,均有非常具体的学习目标和学习内容。

(2)对教材的体系和内容进行了必要的改革,更加科学合理。在内容编排上以实际操作技能为主线,知识为掌握技能服务,知识内容以相应的职业必须的专业知识为起点,不再重复已经掌握的理论知识,以达到再培训,再提高,满足技能的需要。

凡属已出版的《全国电力工人公用类培训教材》涉及到的内容,如识绘图、热工、机械、力学、钳工等基础理论均未重复编入本教材。

(3) 教材突出了对实际操作技能的要求,增加了现场实践性教学的内容,不再人为地划分初、中、高技术等级。不同技术等级的培训可根据大纲要求,从教材中选取相应的章节内容。每一章后,均有关于各技术等级应掌握本章节相应内容的提示。

(4) 教材更加体现了培训为企业服务的原则,面向生产,面向实际,以提高岗位技能为导向,强调了“缺什么补什么,干什么学什么”的原则,内容符合企业实际生产规程、规范的要求。

(5) 教材反映了当前新技术、新设备、新工艺、新材料以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态等内容。

(6) 教材力求简明实用,内容叙述开门见山,重点突出,克服了偏深、偏难、内容繁杂等弊端,坚持少而精、学则得的原则,便于培训教学和自学。

(7) 教材不仅满足了《规范》对职业技能鉴定培训的要求,同时还融入了对分析能力、理解能力、学习方法等的培养,使学员既学会一定的理论知识和技能,又掌握学习的方法,从而提高自学本领。

(8) 教材图文并茂,便于理解,便于记忆,适应于企业培训,也可供广大工程技术人员参考,还可以用于职业技术教学。

《火力发电职业技能培训教材》的出版,是深化教材改革的成果,为创建新的培训教材体系迈进了一步,这将为推进火力发电厂的培训工作,为提高培训效果发挥积极作用。希望各单位在使用过程中对教材提出宝贵建议,以使不断改进,日臻完善。

在此谨向为编审教材做出贡献的各位专家和支持这项工作的领导们深表谢意。

《火力发电职业技能培训教材》编委会

编者的话

继电保护是指能反应电力系统中电气元件发生的故障或不正常运行状态，动作于断路器跳闸或发出信号以保证电力系统安全稳定运行的一种自动装置。随着新技术逐渐地应用，继电保护技术也日趋复杂，但高科技的应用也使保护的维护和检修工作日趋简单，工作量逐渐减小。所以我们要不断地吸取新的技术知识充实自己，更好的掌握保护原理，并将更先进的技术测试手段应用到继电保护的维护调试工作中，使继电保护装置的工作性能更好，能更好地保护系统的安全可靠运行。

本《教材》突出“职业实际技能操作培训”的主导思想，基本上以《职业签定指导书》培训大纲中的“职业技能模块”设章，并根据生产实际及培训的需要对某些“模块”的内容进行适当地调整。分别对电子技术、电工基础、计算机、电气设备基础知识、识、绘图知识，常用仪器仪表知识，保护原理、分析、调试、整定计算知识，常用技术规程，二次设备管理验收、把关等各方面都做了不同程度的陈述。

本《教材》共分五章，太原第二电厂的李雅勤、连立东和张晓东同志参加了编写。编写过程中主编郑耀生同志给予了大力支持，并指导整个编书工作。此外特别感谢主审高晓霞同志给予的指导、建议和提出的宝贵意见。

由于时间仓促，本书难免有不妥之处，希望大家批评指正。

常用设备文字符号及角标

一、常用设备文字符号

QS——隔离开关；	HR——红色信号灯；
QSL——线路隔离开关；	HL——光字牌；
QSB——旁路隔离开关；	HA——电铃、蜂鸣器；
QSW——母线隔离开关；	KM——接触器、中间继电器；
QF——分段断路器；	KOF——跳闸继电器；
QFL——线路断路器；	KMF——防跳中间继电器；
QFB——旁路断路器；	KMC——合闸位置中间继电器；
W——母线；	KMT——跳闸位置中间继电器；
WB——旁路母线；	KMM——电源监视继电器；
WS——信号母线；	KRC——重合闸继电器；
WC——控制母线；	KW——功率继电器；
WH——合闸母线；	KR——阻抗继电器；
WSA——事故音响信号小母线；	KMB——闭锁继电器；
WA——辅助母线；	KSI——信号脉冲继电器；
WM——闪光母线；	KH——热偶继电器；
WSY——预报信号母线；	KT——时间（温度）继电器；
WP——掉牌未复归小母线；	KS——信号继电器；
TAU——升压自耦变压器；	KA——电流继电器；
TME——测量变压器；	KV——电压继电器；
TA——自耦变压器；	KD——差动继电器；
TM——中间变压器；	KG——气体继电器
TX——相复励变压器；	YT——跳闸线圈；
UM——中间变流器；	YC——合闸线圈；
UO——输出整流器；	SA——控制开关；
UC——磁放大器整流器；	S——转换开关；
AM——磁放大器；	SB——按钮；
HS——信号灯；	SS——同期转换开关；
HG——绿色信号灯；	SSM——解除手动准同期开

关；
SSA1——自动准同期开关；
SSA2——自同期开关；
SBTE——试验按钮；
SBST——启动按钮；
SBS——停止按钮；
SBA——事故信号按钮；
SBD——解除信号按钮；
PW——有功功率表；
PV——无功功率表；
PJ——有功、无功电能表；
AAR——自动重合闸装置；
KCS——同步检定继电器；
TL——电抗互感器；
BZ——整流桥；
XB——连接片；
TA——电流互感器；

TV——电压互感器；
FU——熔断器；
SD——灭磁开关；
G——发电机；
GE——励磁机；
GD——直流发电机；
GS——同步发电机。

二、角标

sen——灵敏；
rel——可靠；
r——返回；
st——启动；
ast——自启动；
set——整定；
res——制动；
ad——附加。

目 录

前言

编者的话

常用设备文字符号及角标

综述	1	第二节 试验准备	
第一章 基础知识	4	与报告	284
第一节 电工基础	4	第三节 整定计算	296
第二节 电子电路	7	第四章 专门技能	338
第三节 微机应用	17	第一节 选型与计算	338
第四节 一次设备	31	第二节 检验与调试	341
第五节 二次设备	70	第三节 专业技能知识	378
第二章 继电保护的基本		第四节 保护装置的现场	
知识	98	调试	409
第一节 简单保护配置和继电器		第五节 管理及技术	
工作原理	98	把关	414
第二节 继电保护和自动		第五章 相关技能	451
装置	116	第一节 相关工具、仪表	
第三章 继电保护基本		仪器的使用	451
技能	241	第二节 安全文明生产	463
第一节 识图与绘图	241		

综 述

电力电子学是由半导体、集成电路（IC）等带动起来的，今后这种带动也不例外。Silicon（硅）基器件在今后已没有什么可突破的空间了。目前研究的方向是 SiC（碳化硅）等下一代半导体材料。这些新材料做成的器件导通损耗很小，而承受的电压会提高很多，承受的温度会达到 150、250、300℃，它的出现会产生革命性的影响。目前所有的能源中，电力方面的能源约占 40%，而电力能源中大多是经过电力电子设备的转换才到使用者手中。如果用很好的电力电子技术去转换，人类可以大大的节约能源。

近年来，变频调速技术越来越普遍应用，采用变频调速技术是当前推进企业节能降耗的重要技术手段。变频技术是因交流电机无级调速的需要而诞生的。所谓变频，简单说就是改变电源频率。变频技术的核心是变频器，变频器是 20 世纪 80 年代问世的一种高新技术产品，它通过对电流的转换来实现电动机运转频率的自我调节，把固定的电网频率改为可变化的频率，同时还可以将电源电压范围扩大，例如频率由 50Hz 变为 30 ~ 130Hz，电源电压 142 ~ 270V。

它的主要原理是工频电源通过整流器变成固定的直流电压，然后由大功率晶体管 MOSFET 或 IGBT 组成的高频变换器，将直流电压逆变成电压、频率可变的交流输出，电源输出波形近似于正弦波，用于驱动交流异步电动机实现无级调速或再进行可控整流，得到可调的直流电压，实现特制的直流电动机无级调速。现代调频技术往往由数字信号控制和处理，这就是数字调频技术。

变频技术的应用在我国有很大的发展，并取得了良好的效果，但与发达国家的水平尚有很大差距。目前，我国在用的交流电动机使用变频调速运行的仅 6% 左右，而工业发达国家已达 60% ~ 70%；日本在风机、水泵上变频调速的采用率已达 10%，而我国还不足 0.01%。

显著的节能降耗效果、调节方便等使变频技术已为大多数用户所接受。但以下几点在变频器产品的选用时应注意：频率发生变化会影响启动

综
述

电流和启动转矩；由变频器产生的谐波会向整个电网扩散，引起附加损耗和谐波污染；功率因数差，转矩脉动大，动态响应慢；变频器一次性投入较高，回收投资慢的问题；技术人员对变频技术的掌握程度不够。

由于变频器技术不断的提高和变频调速装置的每千瓦的成本随着其功率增大而减少，经济性随着电机功率的增大而提高，变频器的应用会更加广泛。

从微机引入继电保护以后，继电保护技术在一些方面得到了明显地进步。微机保护在利用故障分量（或称作突变量）方面得到了长足的进步。另一方面，自适应控制理论与继电保护结合而产生的自适应式微机保护也得到比较大的发展。计算机通信和网络技术的飞速发展及其在电力系统中得到推广应用，使得变电所和发电厂的集成控制和综合自动化得以比较容易实现。微机保护装置网络化可大大提高保护性能和可靠性，这也是微机保护发展的必然趋势。

自适应继电保护是一种继电保护的基本原理，这种原理使得继电保护能自动地对各种保护功能进行调节或改变，以更适合于给定的电力系统的工况。按照自适应对策进行分类，可区分为：①整定值自调整式自适应保护；②系数自调整式自适应保护；③变结构自适应保护；④环境的自适应调节。

按照识别的情况进行分类时，可区分为：①故障前识别；②故障后识别。

除了上述两种分类方法外，还可以按目的来区分。例如，有些自适应策略是为了提高保护的灵敏度，有些自适应策略是为了提高保护动作速度的等。此外，还可以以信息来源进行区分，如就地信息和远方信息等。

例如：微机保护许多算法是建立在采样频率与电力系统工频频率成倍数的基础上的，如每周期采样 8、12、16、20 点等。当二者的比值与原来设定的比值不符时，将出现误差。微机保护与传统保护一样，当系统频率改变而采样频率不变时，滤波算法的基础遭到破坏，因而也会出现不平衡输出。自适应原理在这方面的作用就是进行采样频率自动跟踪调整。

配电网的继电保护一般以过电流保护为主，而过电流保护的灵敏度和保护范围、动作速度等受电源运行方式的影响很大。在计算机网络支持下，将自适应原理用于配电网的保护系统后，这种不利的影响可得到比较大的改进。整个系统可以分为中央控制层、变电所控制层和继电器层。变电所的控制计算机将该变电所的各开关/负荷状态上传给中央计算机，中央计算机根据电力系统电源及上层网络状态以及各变电所上传的状态信息

综合分析计算出影响各种保护继电器的主要因素，以致具体整定值，再通过网络下传至各继电器。各继电器就能以适合当前电力系统状态的整定值（包括方向继电器的投/切），在保证选择性的前提下获得最高的灵敏度和最快的动作速度。

由于自适应继电保护的涵义是继电器必须适应于正在变化的系统情况，就必须有分层配置的、带有通信线路的计算机继电保护，并能与变电所的其他设备或远方变电所的计算机网络进行通信。因此，可以设想一种适应于变电所环境的自适应保护系统或一种响应系统需求的自适应保护系统。显然，一种响应系统需求的自适应保护系统更为全面。就目前而言，光纤通信线路是用于大量数据转换的最好媒介。

继电保护技术未来趋势是向计算机化、网络化、智能化（如神经网络式继电保护），保护、控制、测量和数据通信一体化发展。随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步，继电保护技术面临着进一步发展的趋势。

第一章

基础知识

第一节 电工基础

一、基本原理

(1) 基尔霍夫第一定律。基尔霍夫第一定律是由电荷守恒定律在电路中的反映,在电路中任一节点上,流出与节点相连的各支路中的电流的代数和为零,各支路中的电流,其参考方向背离节点为正,指向节点为负。

(2) 基尔霍夫第二定律。基尔霍夫第二定律是能量守恒与转换定律在电路中的反映,在电路中由各支路组成的闭合网络中,沿回路绕行方向各支路电压的代数和为零,其中各支路的电压参考方向与绕行方向一致为正,不一致为负。

(3) 特勒根定理。对于一个具有 m 个节点、 b 个支路的电路,如将支路电压与支路电流取为关联方向,特勒根定理表达式为

$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0 \quad (1-1)$$

这一定律体现功率守恒定理。对于两个电路结构相同而元件可全不同的电路,如图 1-1 (a)、(b) 所示结构相同,具有 b 条支路的电路,电流电压分别表示为 u_k 、 i_k 、 \hat{u}_k 、 \hat{i}_k , 特勒根定理可表示为

$$\sum_{k=1}^b \hat{u}_k i_k = \sum_{k=1}^b u_k \hat{i}_k \quad (1-2)$$

(4) 叠加定理。线性电路中各激励所产生的响应是各激励单独作用所产生响应的叠加。使用叠加定理时注意以下几点: ①仅适用于线性电路; ②未计及的激励视为零,电压源代以短路,电流源代以开路; ③受控源不是激励,在分别计算激励的作用时,应保留在电路中。

(5) 替代定理。电路中电压为 u_k , 电流为 i_k 的支路,可用电压为 u_k 的电压源或是电流为 i_k 的电流源来替代,而电路中未加变动部分电压电流不变,被替代的支路可以是有源的,也可以是无源的。

(6) 戴维南定理与诺顿定理。戴维南定理指出“任何一个含独立电

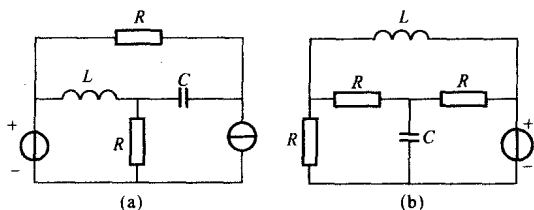


图 1-1 特勒根定理示意图

(a) 原电路; (b) 等效电路

源、线性电阻和受控源的一端口, 对外电路来说, 可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效置换, 此电压源的电压等于一端口的开路电压, 而电阻等效于一端口的全部电源置零后的输入电阻”。

而诺顿定理指出“任何一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口, 对外电路来说, 可以用一个电流源和电导的并联组合来等效置换, 电流源的电流等于该一端口的短路电流, 而电导等于把该一端口的全部电源置零后的输入电导”。这两个定理有时统称为等效发电机定理。

(7) 互易定理。互易定理是指具有互易特性的电路中当响应与激励互换位置时, 其值保持不变。

(8) 对偶原理。对偶原理指出, 原电路与其对偶电路在电路方程的表示形式上是相同的, 串联对偶为并联, 电压源对偶为电流源, 电阻对偶为电导, 网孔对偶为节点, 网孔电流对偶为节点电压。

(9) 最大功率传递。如图 1-2 所示, 当达到匹配条件 $R_1 = R_{in}$ 时, 得到最大传输功率 $U_s^2/4R_{in}$ 。

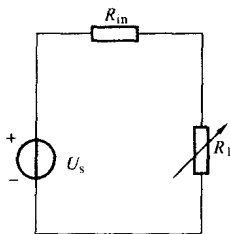


图 1-2 最大功率传递示意图

二、分析方法

(1) 相量法直接以正弦电压、电流的相量为电路变量求解正弦电流电路响应的方法叫做相量法, 如基尔霍夫第一定律可表达为 $\sum \dot{I} = 0$; 基尔霍夫第二定律可表达为 $\sum \dot{U} = 0$ 。相量在复平面上以矢量或矢量和表示的图形, 叫做相量图。相量法分析正弦电流电路的稳态响应时, 前述的定理都能应用。

(2) 据线性电路的叠加原理, 非正弦周期电源激励的稳态响应等于电源的傅立叶级数展开式中各分量单独作用时的稳态响应的代数和, 计算的步骤是: ①将非正弦周期电源分解为傅立叶级数; ②按 $k = 1, 2, \dots$ 的顺序逐项计算相对应的稳态响应, 计算所取项数视精度要求而定; ③按时域形式求各响应的代数和。

(3) 含有储能元件 (电感和电容) 电路称为动态电路, 直接求解动态电路的常系数 (线性) 微分或积分方程的方法称为 (线性) 动态电路的时域分析法。

(4) 拉氏变换把线性微分方程的求解简化为线性代数方程的求解, 应用拉氏变换方法求解动态线性电路时, 电路变量时间要经过积分变换成为一个复变函数, 拉氏变换是从时域到复频域的变换。

(5) 含有非线性电阻元件的电阻电路称非线性电阻电路, 采用表格法或改进的节点分析法, 可以编制非线性电阻电路的方程, 得到如下一组代数方程

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_p) = 0 (k = 1, 2, \dots, p)$$

在上式中 x_1, \dots, x_p 为电路变量, 它们可能是电路中的节点电压、支路电流, 也可能是节点电压和某些支路电流的混合。非线性代数方程组一般无闭式解析解, 工程上主要采用图解法、数值分析法、分段线性化法、小信号分析法等近似方法求解。

(6) 对称分量法是分析具有不对称电源或负载的三相电路的重要方法。任一组三相不对称电源, 可分解为正序对称分量、负序对称分量和零序对称分量之和。即

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0} \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0} \\ \dot{U}_{A0} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \\ \dot{U}_{A1} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C) \\ \dot{U}_{A2} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

其中

$$\alpha = -1/2 + j\sqrt{3}/2$$

式中 α ——工程上为方便而引入的单位相量算子。

三、基本概念

(1) 谐振。有些电路同时含有电感和电容，由电感和电容组成串联、并联、串并联形成的谐振电路在正弦电源激励下，当端电压和输入电流同相时的稳定状态定义为电路的谐振。在实际中有的被广泛应用，有的需要加以避免和抑制，分为串联谐振和并联谐振。

(2) 二端口网络。任一具有四个外连接端子的电路 N_0 ，端子形成两个端口 $1-1'$ 和 $2-2'$ ，并满足 $i_1 = i_1'$ 和 $i_2 = i_2'$ ，则 N_0 称为二端口网络，如图 1-3 所示。

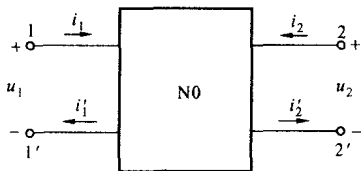


图 1-3 二端口网络图

(3) 滤波。输入信号中的某一频段以相对较高的幅度输出的二端口网络称为滤波器。滤波器这种选频段的功能称为滤波，滤波电路分为低通、高通和带通等，谐振电路也有滤波功能。

第二节 电子电路

一、半导体

通常把导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质叫做半导体。电子设备中使用的晶体二极管、晶体三极管、可控硅以及集成电路等各种器件，其核心部分都是用半导体材料制成的。半导体具有如下一些独特性质。

(1) 半导体的电阻率受所含杂质的影响极大，纯净的半导体只要掺入微量的杂质，其电阻率就会大大减小；

(2) 半导体的电阻率随温度升高按指数规律减小，一般金属的电阻率是随温度升高而增大的；

(3) 半导体的电阻率随光照而显著减小，有一些特殊的半导体在电场或磁场的作用下电阻率也会发生改变。

纯净的半导体叫做本征半导体，在本征半导体中掺入适量的五价元素就成为 N 型半导体。N 型半导体的特点是体内电子浓度比空穴浓度大得多，自由电子是多数载流子。空穴是少数载流子，导电功能主要依靠自由电子。在本征半导体中掺入少量三价元素，就成为 P 型半导体，P 型半导体的特点与 N 型半导体的特点正相反。