

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材

电力电子技术及应用

陈 坚 主编

为继续教育（函授）

量身定做



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材

电力电子技术及应用

陈 坚 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

电力电子技术与应用是电气工程及其自动化、自动化等专业的重要专业基础课,本书内容包括:电力电子技术及其应用概况、电力电子器件、直流-直流变换、直流-交流变换、交流-支流变换、交流-交流变换、辅助元器件和系统、多级开关电路组合型交流和直流变换电源、电力电子开关型电力补偿控制器。全书内容详细、层次分明,并对一些新技术做了详细介绍。

本书是“电气工程及其自动化”专业继续教育(函授)专升本学生教材,也可作为相近专业教材和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术及应用/陈坚主编. —北京:中国电力出版社, 2005

(电气工程及其自动化专业继续教育(函授)专升本系列教材)

ISBN 7-5083-3609-7

I. 电... II. 陈... III. 电力电子学-函授大学-教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第108440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>)

北京丰源印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

2006年1月第一版 2006年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15印张 334千字

印数0001—3000册 定价23.00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)

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）系列教材

参 编 学 校

华中科技大学

武汉大学

华北电力大学

东北电力学院

三峡大学

上海电力学院

长沙理工大学

武汉电力职业技术学院

电气与电子工程学院

电气工程学院

电气工程学院

电力系

电气工程学院

电力系

电力学院

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）系列教材

编 委 会

主 任：尹项根

副主任：陈柏超 熊 蕊 刘克兴

委 员：（按姓氏笔画排序）

丁坚勇	王义军	尹项根	关根志	刘克兴	齐 俊
朱 凌	陈 坚	何发斌	李天云	李裕能	严国志
应敏华	张元芳	张步涵	张丽静	张 哲	张新国
林碧英	赵 玲	聂宏展	殷小贡	袁兆强	梁文朝
程乃蕾	辜承林	韩学军	鲁方武	鲁铁成	舒乃秋
谢自美	喻剑辉	曾克娥	曾祥君	谭 琼	熊信银
熊 蕊	魏涤非				

编者按语

根据《中国教育改革与发展纲要》中“要大力发展成人高等教育”的精神，由华中科技大学电气与电子工程学院和武汉大学电气工程学院牵头，组织华北电力大学电气工程学院、东北电力学院电力系、三峡大学电气工程学院、上海电力学院电力系、长沙理工大学电力学院、武汉电力职业技术学院等单位，成立了“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）教学工作协作组，于2003年11月在武汉，就国家在新形势下对人才的需求及“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的现状、特点和人才供需状况，对“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的教学计划、课程体系和使用教材现状进行了充分地研讨，制定了“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专科和专升本两个层次的指导性教学计划。在此基础上研究了本专业的教材建设问题，大家一致认为函授教材要遵循自学和面授相结合、理论和实践相结合的原则，体现市场经济和科技发展对继续教育知识更新和理念更新的要求。针对目前“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专科和专升本两个层次尚缺乏系统性教材的现状，决定组织各学院有经验的教授和专家编写这两个层次的教材。我们希望这两套系列教材能为规范本专业的教学内容和提高本专业的教学质量起到积极的推动作用。

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的教材建设，现在只是开头，需不断改进和完善。因此，在使用过程中敬请读者随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。

**“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）教学工作协作组
“电气工程及其自动化”专业（函授）教材编委会**

2005年3月

前言

采用半导体开关器件构成各种开关电路,按一定的规律适时地控制开关器件的通、断状态,可以实现电子开关型电力变换、电力补偿和电力控制,这种电力电子变换和控制技术,被称为电力电子技术,本书介绍电力电子技术及其应用。

电力电子技术—电力电子变换和控制技术,是电气工程及其自动化专业学生面向 21 世纪培养目标所必修的一门技术基础课程,也是从事现代电气工程及其自动化技术的科技人员必须掌握的基础技术。

本书共 9 章。第 1 章介绍电力电子技术及其应用概况,包括电力电子学科的形成、电力电子变换的基本电路、基本的控制原理和两类应用领域。学习这一章可使读者对电力电子变换和控制技术有一个全貌性的认识。第 2 章介绍了已得到广泛应用的几类半导体电力开关器件的基本工作原理和静态特性。随后,第 3、4、5、6 章,依序介绍直流—直流变换、直流—交流变换、交流—直流变换和交流—交流变换,重点是四类基本的电力电子变换电路的工作原理和特性。在第 7 章中集中讲述电力电子变换器中的辅助元器件和系统,包括开关器件的触发驱动器、开关过程的缓冲器、滤波器,过压过流保护,散热系统和控制系统,可使读者对电力电子变换器的主电路和控制系统的设计和运行有一个总体认识。在第 8 章中,讲述由两个或三个基本变换电路所构成、并已得到广泛应用的多级开关电路组合型交流和直流变换电源。第 9 章介绍了电力电子变换器、电力电子补偿控制器在电力系统中的应用。将电力电子补偿器和控制器应用于电力系统中的发电、输电、配电和供电,可以对电力系统的运行参数实现快速、有效的调节和控制,从而显著提高电力系统中发电机、输电线等电力设备利用率,实现电力系统的安全、经济、高效、优质运行。在今后 10~20 年中电力电子补偿控制器在电力系统中的广泛应用可能会导致电力系统发生革命性的变革。

为便于学生自学,本书中重要内容的分析、论述,重要公式的推证都比较详细,每章最后有小结,并给出复习题和思考题。标有星号的部分为选学内容。

本书由华中科技大学陈坚教授和上海电力学院赵玲副教授共同编写。赵玲副教授编写了第 2、5、6 章,其余各章由陈坚教授编写。

作者在此对书末所列参考书的作者表示衷心感谢。

作者殷切希望采用本书的教师、学生和使用本书的专业技术人员,对本书的内容、结构及疏漏、错误之处给予批评、指正。

编者

2005 年 4 月

目录

编者按语

前言

第 1 章 电力电子变换和控制技术导论	1
1.1 电力电子学科的形成	1
1.2 电力电子变换和控制的技术经济意义	3
1.3 开关型电力电子变换基本原理及控制方法	4
1.4 开关型电力电子变换器的应用领域	9
小结	11
复习题及思考题	12
第 2 章 电力半导体开关器件	13
2.1 电力二极管	13
2.1.1 PN 结与电力二极管的工作原理	13
2.1.2 电力二极管基本特性	15
2.1.3 电力二极管主要参数	16
2.1.4 电力二极管主要类型	17
2.1.5 电力二极管基本应用	18
2.2 双极结型电力三极管 BJT	18
2.2.1 三极管的工作原理	19
2.2.2 BJT 的基本特性	20
2.2.3 电力三极管使用参数和使用特性	23
2.3 晶闸管及其派生器件	24
2.3.1 晶闸管的结构与工作原理	24
2.3.2 晶闸管的基本特性	26
2.3.3 晶闸管的主要参数	27
2.3.4 晶闸管的派生器件	30
2.4 门极可关断晶闸管	32
2.4.1 GTO 的结构和工作原理	32
2.4.2 GTO 的特性与主要参数	33
2.5 电力场效应晶体管	35
2.5.1 电力 MOSFET 的结构和工作原理	35
2.5.2 电力 MOSFET 的基本特性和主要参数	36
2.6 绝缘门极双极型晶体管	37
2.6.1 IGBT 的结构和工作原理	37

2.6.2 IGBT的基本特性与主要参数	38
2.7 半导体电力开关模块和功率集成电路 PIC	41
小结	43
复习题及思考题	45
第3章 直流-直流变换器	46
3.1 直流-直流降压变换器 (Buck DC/DC 变换器)	46
3.1.1 电路结构和降压原理	46
3.1.2 电感电流连续时工作特性	48
3.1.3 电感电流断流时工作特性	51
3.2 直流-直流升压变换器 (Boost DC/DC 变换器)	54
3.2.1 电路结构和升压原理	54
3.2.2 电感电流连续时工作特性	56
3.2.3 电感电流断流时工作特性	57
3.3 直流升压-降压变换器 (Boost-Buck 变换器或 Cuk 变换器)	60
3.3.1 电路结构和工作原理	60
*3.3.2 电流断流时工作特性	62
*3.4 两象限、四象限直流-直流变换器	64
3.4.1 两象限直流-直流变换器	64
3.4.2 四象限直流-直流变换器	66
3.5 带隔离变压器的直流-直流变换器	67
3.5.1 隔离型 Buck 变换器——单端正激变换器 (Forward Converter)	68
3.5.2 隔离型 Buck-Boost 变换器——单端反激变换器 (Flyback Converter)	70
小结	75
复习题及思考题	75
第4章 直流-交流变换器 (逆变器)	77
4.1 逆变器的类型和性能指标	77
4.1.1 逆变器的类型	77
4.1.2 逆变器输出波形性能指标	78
4.2 电压型单相方波逆变电路工作原理	79
4.2.1 电压型单相全桥逆变电路	79
4.2.2 电压型单相半桥逆变电路	81
4.2.3 变压器中心抽头推挽式 (Push-Pull) 单相逆变电路	81
4.3 电压型单相逆变器输出电压和波形控制	82
4.3.1 单脉宽脉冲宽度调制 PWM 逆变器	83
4.3.2 正弦脉冲宽度调制 SPWM 基本原理	84
4.3.3 单极性倍频正弦脉冲宽度调制逆变器	86
4.3.4 双极性正弦脉冲宽度调制 BSPWM 逆变器	91
4.3.5 基波移相控制	93
4.4 三相逆变电路工作原理	94
4.4.1 电压型三相逆变工作原理	94

4.4.2 电流型三相逆变工作原理	97
4.5 三相逆变器输出电压和波形的 SPWM 控制	98
*4.6 大容量逆变器的复合结构	102
4.6.1 12 阶梯波逆变器	102
4.6.2 24 阶梯波逆变器	105
小结	107
复习题及思考题	108
第 5 章 交流 - 直流变换器 (整流器)	109
5.1 不控整流	109
5.1.1 单相半波不控整流	109
5.1.2 单相桥式不控整流	110
5.1.3 变压器中心抽头双半波不控整流	111
5.1.4 三相半波不控整流	111
5.1.5 三相桥式不控整流	112
5.2 电容滤波的不控整流电路	114
5.2.1 电容滤波的单相不控整流电路	114
5.2.2 电容滤波的三相桥式不控整流电路	116
5.3 单相桥式相控整流电路	117
5.3.1 单相桥式全控整流电路	118
5.3.2 单相桥式半控整流电路	127
5.4 三相桥式相控整流电路	129
5.4.1 三相桥式全控整流电路	131
5.4.2 三相桥式半控整流电路	135
5.5 双三相桥 (带平衡电抗器) 12 脉波相控整流电路	136
5.6 整流电路中交流电路电感对整流特性的影响	138
5.7 晶闸管相控有源逆变电路	141
5.7.1 实现有源逆变的条件	141
5.7.2 三相桥式有源逆变电路	143
5.7.3 逆变失败与最小逆变角的限制	144
5.8 相控整流器及有源逆变器的晶闸管触发控制	145
*5.9 含 Boost 型功率因数校正器的高频整流电路	148
5.10 整流器的性能指标	149
小结	152
复习题及思考题	152
第 6 章 交流 - 交流变换器	154
6.1 单相交流电压控制器	155
6.1.1 电阻负载条件下工作特性分析	155
6.1.2 阻感负载条件下工作特性分析	155
6.2 三相交流电压控制器	157
6.2.1 三相星形联接电压控制器	158

6.2.2 支路控制三角形联接电压控制器	159
6.3 变压器抽头控制器	160
6.3.1 电阻性负载条件下工作特性分析	160
6.3.2 电阻电感性负载条件下工作特性分析	161
小结	162
复习题及思考题	162
第7章 辅助元器件和系统	163
7.1 触发器、驱动器	163
7.1.1 SCR (晶闸管) 的触发器	163
7.1.2 GTO 的触发器	164
7.1.3 BJT 的驱动器	165
7.1.4 P-MOSFET、IGBT 的驱动器	166
7.2 过电流保护和过电压保护	167
7.2.1 过电流保护	167
7.2.2 过电压保护	168
7.2.3 开关器件串联、并联应用时的均压、均流保护	169
7.3 开关器件的开通、关断过程与安全工作区	169
7.3.1 线路电感 $L_o = 0$ 时开关器件的开通、关断过程	171
7.3.2 线路电感 $L_o \neq 0$ 时开关器件的开通、关断过程	173
7.3.3 安全工作区	174
7.4 缓冲器	175
7.4.1 LCRD 缓冲器	175
7.4.2 限幅箝位缓冲器	178
7.5 电感 (电抗器)	181
7.6 滤波器	183
7.6.1 滤波器基本功能和类型	183
*7.6.2 LC 滤波器衰减特性	185
*7.6.3 谐振型滤波器	186
7.7 控制系统和辅助电源	187
小结	188
复习题及思考题	188
第8章 多级开关电路组合型交流、直流电源	190
8.1 AC/DC-DC/AC 变压、变频 (VVVF) 电源	190
8.2 AC/DC-DC/AC 恒压、恒频 (CVCF) 不间断电源 UPS	192
8.2.1 典型在线双变换式 UPS	193
8.2.2 典型后备式 UPS	194
8.2.3 在线互动式 UPS	194
8.3 具有中间交流环节 (直流-交流-直流变换) 的直流电源	195
8.3.1 半桥型 DC/AC-AC/DC 直流电源	195
8.3.2 全桥型 DC/AC-AC/DC 直流电源	197

8.4 交流电源、直流负载时电力变换系统方案比较	199
小结	200
复习题及思考题	201
第9章 电力电子技术在电力系统中的应用	202
9.1 晶闸管开关型并联电抗补偿控制器	203
9.1.1 晶闸管投、切并联电容器 TSC	203
9.1.2 晶闸管相控并联电抗器 TCR	204
9.2 晶闸管开关型串联电容补偿器	206
9.2.1 晶闸管控制的串联电容补偿器 TCSC	206
*9.2.2 可关断晶闸管控制的串联电容补偿器 GCSC	207
9.3 PWM 开关型并联无功功率发生器 STATCOM	208
9.4 谐波电流补偿器 HCC (或并联型电力有源滤波器 PAPF)	211
9.5 谐波电压补偿器 HVC (或串联型电力有源滤波器 SAPF)	212
9.6 PWM 开关型串联同步电压补偿器 SSSC	213
*9.7 统一潮流控制器 UPFC	214
*9.8 超导磁体储能系统 SMES	216
9.9 晶闸管相控整流-有源逆变的直流输电系统	218
*9.10 再生能源风能、水能变速恒频发电系统	220
小结	221
复习题及思考题	222
附录 A 傅里叶级数	223
参考文献	228

第 1 章

电力电子变换和控制技术导论

本章叙述现代电力电子学科的形成、电力电子变换和控制的技术经济意义、开关型电力电子变换电路的基本原理和控制方法,最后归纳开关型电力电子变换电路的两类应用领域:电力电子变换电源和电力电子补偿控制器。

1.1 电力电子学科的形成

电力电子技术又称为电力电子学(Power Electronics),是利用大功率半导体开关器件构成开关电路,实现电力变换和电力控制的科学技术。它涉及电力技术、电子技术和控制技术,是三者的交叉学科和综合技术。

1. 电力技术

电力技术是一门涉及发电、输电、配电及电力应用的科学技术。发电设备将其他形态的能源变为电能,再通过输、配电网将电能送至用电设备(负载),用电设备再将电能转变为其他形态的能源。如照明设备将电能转变为光能,电动机将电能转变为机械能用以驱动机械运动,电热设备将电能转变为热能供生活取暖或金属加热冶炼,电化学设备将电能转变为化学能实现电解、电镀或给蓄电池充电等等。电能是现代社会最重要的能源,电能可以由自然界中各种一次能源(煤、石油、天然气、风力、水力、核能、太阳光、化学能等等)转变得来。电能既可以经济地远距离传输和配送,又可以方便、无污染地转化为其它形态的能源。现代社会中各个领域的技术设备几乎都是用电设备,都需要由一定类型的电源供电。

发电、输配电及电力应用技术的理论基础是电磁学(电路、磁路、电场、磁场的基本原理),利用电磁学基本原理处理发电、输配电及电力应用的技术统称电力技术。

2. 电子技术(电子学)

从 20 世纪 30 年代开始,在民用通信及军事装备需求的推动下,逐步形成了一个与电力技术并行发展的电子技术领域。电子技术又称为电子学,它是与电子器件、电子电路(在 L-C-R 电路中引入电子器件的电路)以及由各种电子电路所组成的电子设备和系统有关的科学技术。最早期的电子器件是 1904 年出现的电子管,它能控制电路的通、断和电路中电流的大小。随后发展到晶体管、晶体管集成电路和微处理器。

电力技术研究的是发电机、变压器、电动机、输配电线路等电力设备,以及利用电力设备来处理电力电路中电能的产生、传输、分配和应用问题;而电子技术则是研究电子器

件，以及利用电子器件来处理电子电路中电信号的产生、变换、处理、存储、发送和接收问题。研究信号的产生、变换、处理、存储、发送和接收的电子技术（电子学）又称为信息电子技术或信息电子学。

电力技术的发展依赖于发电机、变压器、电动机、输配电系统，而电子技术的发展依赖于各种电子器件。20世纪50年代以前的电子器件是电子管。1948年，美国贝尔实验室的肖克莱（W.B.Shockley）等人在半导体P-N结（晶体二极管）单向导电的基础上，加进了第三个电极——控制极，发明了能放大电信号的晶体三极管（N-P-N或P-N-P结构），开创了现代电子学——固体电子学或晶体管电子学的新时代。在体积、重量、耗电、可靠性等方面，晶体管比电子管优越得多。1952年，英国雷达研究所的达默提出了一个设想：能否按电子电路功能的要求，将一个电子电路中包含的晶体二极管、三极管以及电阻、电容、电感等元件全部制作在一块半导体晶片上，从而构成一块具有一定的信号变换、处理功能的完整电路——集成电路？达默的这一设想引发了人类历史上具有划时代意义的微电子技术革命。20世纪50年代占满一个房间的电子电路系统现在已可以由一块大拇指大小的集成电路芯片替代。至今，具有各种信息处理功能的集成电路芯片和电子装置系统，其集成密度、运算速度仍在急剧上升，而成本却不断下降，使其在任何领域都能广泛应用。微电子技术的成就为现代电子技术的发展和广泛应用奠定了基础。

3. 电力电子技术（电力电子学）

早期的电力技术并不涉及电子器件，也不应用电子技术。例如，20世纪20年代法国建成的一套直流输电系统（输送电压125kV、输送功率20MW、输电距离225km），采用交流电动机拖动直流发电机在直流输电线首端实现交流-直流交换（简称整流），在直流输电线末端采用直流电动机拖动交流发电机实现直流-交流变换（简称逆变），并不像现在的直流输电系统采用电力电子开关实现整流和逆变。由于电子管器件的固有缺陷，在20世纪60年代以前，电子技术并未在电力技术领域中得到广泛应用。

1957年，美国通用电气公司在晶体三极管的基础上发明了晶体闸流管（Thyristor，简称晶闸管）。晶闸管是一个固态开关器件，它体积小、重量轻，电压电流额定值高，导通时压降小、阻断时漏电流小，开关速度快，控制简便，工作可靠。晶闸管具有可控的单向导电性，首先被用于可控整流电路，实现交流-直流变换，又由于使用硅半导体材料，因此初期曾被称为可控硅整流器SCR（Silicon Controlled Rectifier）。不久，晶闸管的开关功能又被用于逆变（实现直流-交流电源变换）、交流-交流电压调节和直流-直流电压变换。随后国际电工委员会正式将其命名为Thyristor——晶体闸流管，简称晶闸管。

晶闸管是从半导体二极管（P-N结）、半导体三极管（N-P-N或P-N-P结构）发展起来的高电压、大电流半导体电力开关器件。20世纪60年代以后，以晶闸管为代表的各类高电压、大电流半导体开关器件（简称半导体电力开关器件）相继研制成功并得到广泛应用。最近十几年，以微电子技术精细加工为基础的高频、高压、大电流、全控型半导体电力开关器件的研制工作发展很快，好几种新器件都已得到广泛应用。电压、电流额定值更高，特性更优良，开关速度更快的新器件有望在21世纪初得到广泛应用。利用半导体电力开关器件组成电力开关电路，利用半导体集成电路和微处理器芯片构成信号处理

和控制系统，对电力开关电路进行实时、适式的控制，可以经济有效地实现开关模式的电力变换和电力控制，包括电压（电流）的大小、频率、相位和波形的变换和控制。将现代电子技术和控制技术引入传统的电力技术领域实现电力变换和控制，即电力电子变换和控制技术，是一门综合了电子技术、控制技术和电力技术的新兴交叉学科。这种电力电子变换和控制技术，被国际电工委员会命名为电力电子学（Power Electronics）或称为电力电子技术。用图 1-1 所示的倒三角形表征电力电子技术是电力技术、电子技术与控制技术三者结合的交叉学科。

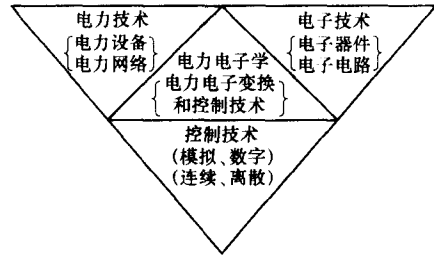


图 1-1 表征电力电子技术

的倒三角形

1.2 电力电子变换和控制的技术经济意义

在电力系统中，公用电网提供的电源是频率固定的某一标准等级电压的单相或三相交流电源。但是用电设备的类型、功能千差万别，对电能的电压、频率要求各不相同。为了满足一定的生产工艺和流程的要求，确保产品质量、提高劳动生产率、降低能源消耗、提高经济效益，供电电源的电压、频率甚至波形都必须满足各种用电设备的不同要求。凡此种种，都要求能将发电厂生产的单一频率和电压的电能变换为各个用电设备最佳工况所需要的另一种特性和参数（频率、电压、相位和波形）的电能，再供负载使用。公用电网的恒频、恒压电能经过适当的变换、控制和处理后再供负载使用，用电设备可以获得更好的技术特性和更大的经济效益。例如：

①驱动风机、水泵的三相交流异步电动机总计消耗电厂发电总量的三分之一以上，直接由公用交流电网恒频恒压供电时，当需要减少风量、水流量，以往是利用挡板、阀门加大风阻、水阻来实现，电能的利用效率很低。如果采用电力变换装置将公用电网 50Hz 恒频、恒压交流电源变频、变压后再对风机水泵电机供电，通过改变供电频率调节电机速度来改变风量、水量，则电能的利用效率可达 90% 左右，这将节省大量的能源，经济效益极为可观。

②电厂发电总量的 10% ~ 15% 消耗在电气照明上。如果采用高频电力变换器（又称电子镇流器）对荧光灯供电，不仅电 - 光转换效率进一步提高、光质显著改善、灯管寿命延长 3 ~ 5 倍、可节电 50%，而且其重量仅为工频电感式镇流器的 10%。电子镇流器的技术关键就是高频电力电子变换器。

③将工频 50Hz 交流电升频后再给用电设备中的变压器、电抗器供电，则变压器、电抗器的重量、体积将大大减小。例如频率为 20kHz 的变压器，其重量、体积比普通 50Hz 的变压器小十多倍，钢、铜原材料的消耗量也大大减小。

④精密机械加工以及造纸机、高速高性能轧钢机、高速电力机车等电力传动，由变频器或高性能直流 - 直流变换器等供电时，产品精度、质量、运行快速性、稳定性都能得到保证，劳动生产率也可大幅提高，效益十分突出。

⑤在幅员辽阔的国家里远距离输电是不可避免的，为了提高输电能力、效率和确保系统稳定性，现今各国已有部分线路采用远距离直流输电。高压直流输电时，输电线路造价低，线路只有较小的电阻压降而无电抗压降，同时直流输电又不存在电力系统的稳定问题而能增大输电功率，所以尽管增加了电力变换（交流变直流、然后直流变交流）环节，但远距离高压直流输电在技术经济上仍是当今远距离输电的最佳方案。

在现代工业、交通、国防、生活等领域中，除变比固定的交流变压器以外，大量需要其它各种类型的电力变换装置和变换系统，将一种频率、电压、波形的电能变换为另一种频率、电压、波形的电能，使用电设备处于各自理想的最佳工况，或满足用电负载的特殊工况要求，以获得最大的技术经济效益。经过变换处理后再供用户使用的电能占全国总发电量的百分比值的高低，已成为衡量一个国家技术进步的主要标志之一。预计到 21 世纪 20 至 30 年代，美国发电站生产的全部电能都将经变换和处理后再供负载使用。

当今世界环境问题日趋严重，应用高频电力电子技术可以使电气设备重量减轻、体积变小、节省大量铜、钢等原材料；还可以节省大量的电力，这就可以节约大量资源和一次能源，从而改善人类的生活环境。

此外，如果在电力系统的适当位置设置电力变换器或电力补偿控制器，并进行实时、适式的控制，就可以改变电力系统中节点电压的大小和相位，补偿电力网路的阻抗，减小甚至消除电力系统中的谐波，优化电力系统中的有功、无功潮流，并对正常运行和故障时电力系统的功率平衡要求予以快速补偿，这将能显著提高输电系统的极限传输功率能力，改善电力系统运行的技术特性、安全可靠性和经济性。

因此，电力电子技术——电力电子变换和控制技术具有巨大的技术、经济意义。

1.3 开关型电力电子变换基本原理及控制方法

1. 电力变换的类型

用电设备将电能转变为光能、热能、化学能或机械能。光、热、化学反应和机械转速、转矩的调节和控制，都可通过改变用电设备电源电压、电流的大小或频率方便地实现。

电源可分为两类：一是直流电，其频率 $f=0$ ；二是交流电，其频率 $f\neq 0$ 。电力变换包括电压（电流）的大小、波形及频率的变换。因此电力变换可划分为四类基本变换，相应的有四种电力变换电路或电力变换器。

①交流（AC）→直流（DC）整流电路或整流器：将频率为 f_1 、电压为 v_1 的交流电变换为频率 $f_2=0$ 、电压为 v_2 的直流电。

②直流（DC）→交流（AC）逆变电路或逆变器：将频率 $f_1=0$ 、电压为 v_1 的直流电变换为频率 $f_2\neq 0$ 、电压为 v_2 的交流电。

③直流（DC）→直流（DC）电压变换电路：将频率 $f_1=0$ 、直流电压 v_1 变换为直流电压 v_2 的直流-直流电压变换电路，又叫直流斩波电路、直流斩波器。

④交流（AC）→交流（AC）电压和/或频率变换电路：将频率 f_1 的交流电压 v_1 变换为频率 f_2 的交流电压 v_2 。如果频率不变（ $f_1=f_2$ ），仅改变电压，则称之为交流电压变换

器或交流斩波器。如果频率、电压均改变，则称为直接变频器。

以上四类电力变换示于图 1-2。

利用以上四类基本变换可以组合成许多复合型电力变换器。例如将①和②两类变换器先后串联 (AC/DC - DC/AC)，可复合成有中间直流环节的交流 - 交流间接变频器 (AC - DC - AC)；将②、①两类变换器先后串联 (DC/AC - AC/DC)，可复合成有中间交流环节的直流 - 直流间接变压器 (DC - AC - DC)。

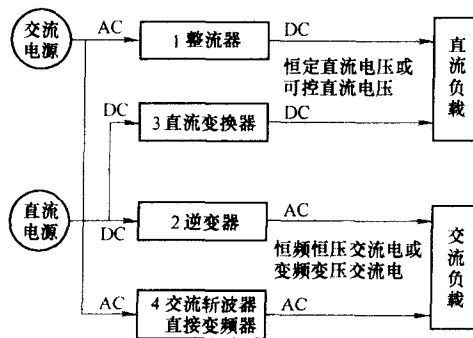


图 1-2 电力变换类型

2. 变流机组实现电力变换

20 世纪 60 年代以前，电压、频率变换一般只能靠电动机、发电机组即变流机组来实现。

图 1-3 (a) 所示是交流电变直流电的直流发电机组。三相交流电网的 50Hz 电源，经启动器给交流异步电动机供电，异步电动机带动直流发电机，发出负载所需的直流电。一个电压闭环控制系统通过监测直流输出电压 U_D ，并与电压给定值 U_D^* 相比较后控制直流

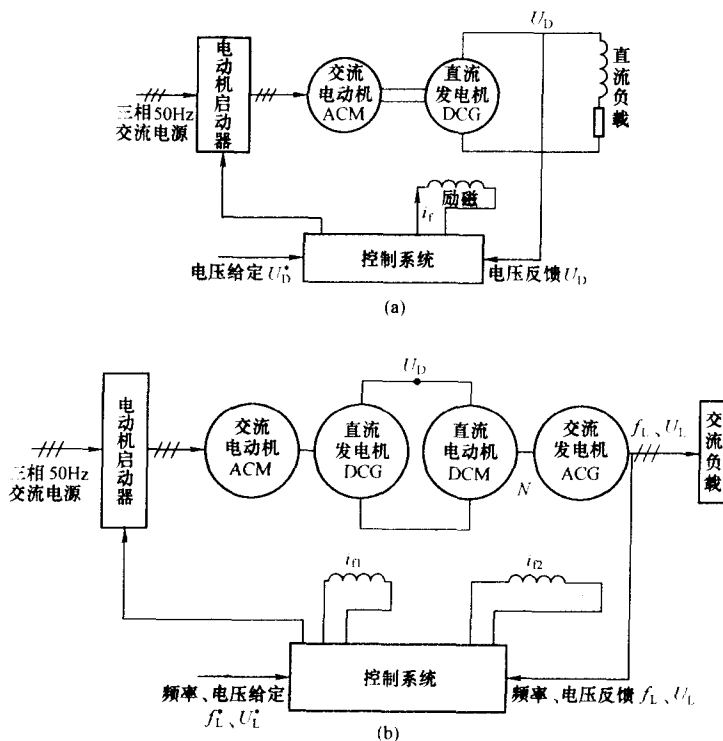


图 1-3 利用变流机组实现电能变换

(a) 交流电动机、直流发电机组实现交流 - 直流变换；(b) 直流发电机组和交流发电机组实现交流 - 交流电压、频率变换