

《电力电子变流技术》 电子教案



教案编写：合肥工业大学能源研究所

授课教师：赵 为

课程的性质、目的和任务

- 本课程是电气工程与自动化专业必修的技术基础课。
- 本课程的目的和任务是使同学熟悉各种电力电子器件的特性和使用方法；掌握各种电力电子电路的结构、工作原理、控制方法、设计计算方法及实验技能；熟悉各种电力电子装置的应用范围及技术经济指标。
- 同时，为《电力拖动自动控制系统》等后续课程打好基础。

课程的基本要求

1. 熟悉和掌握晶闸管SCR、电力MOSFET、IGBT等电力电子器件的结构、原理、特性和使用方法；
2. 熟悉和掌握各种基本的整流电路、直流斩波电路、交流—交流电力变换电路和逆变电路的结构、工作原理、波形分析和控制方法。
3. 掌握PWM技术的工作原理和控制特性，了解软开关技术的基本原理。
4. 了解电力电子技术的应用范围和发展动向。
5. 掌握基本电力电子装置的实验和调试方法。

绪 论

一、什么是电力电子技术？

二、电力电子技术的发展史。

三、电力电子技术的应用领域。

四、课程内容简介。

一、什么是电力电子技术？

1. 定义：

电力电子技术（power electronics）：是应用于电力领域的电子技术，指使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。

〔解释〕

- 电子技术包括：信息电子技术和电力电子技术。
- 信息电子技术——模拟电子技术和数字电子技术。
- 目前电力电子器件均用半导体制成，故也称电力半导体器件。电力电子技术变换的“电力”，可大到数百MW甚至GW，也可小到数W甚至1W以下。
- 电力电子技术主要用于电力变换而信息电子技术主要用于信息处理。

一、什么是电力电子技术？

2. 电力电子技术和其它学科的关系

电力电子实际上是一门交叉学科。Power Electronics名称60年代出现。

1974年，美国的W. Newell用图0-1的倒三角形对电力电子学进行了描述，被全世界普遍接受。

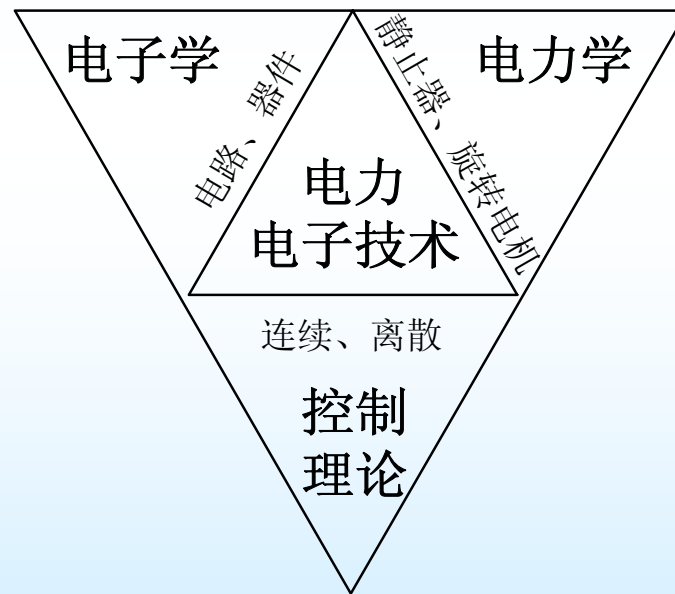


图0-1 描述电力电子学的倒三角形

电力电子技术和电子学的关系 (1)

电子学中的电子器件 对应于 电力电子器件

电子学中的电子电路 对应于 电力电子电路

电力电子器件制造技术和电子器件制造技术的理论基础是一样的，大多数工艺也相同。现代电力电子器件制造大都使用集成电路制造工艺，采用微电子制造技术，许多设备都和微电子器件制造设备通用，二者同根同源。

电力电子技术和电子学的关系 (2)

电力电子电路和电子电路

- ✧ 许多分析方法一致，仅应用目的不同；
- ✧ 广义而言，电子电路中的功放和功率输出也可算做电力电子电路；
- ✧ 电力电子电路广泛用于电视机、计算机等电子装置中，其电源部分都是电力电子电路；
- ✧ 器件的工作状态：
信息电子，既可处于放大状态，也可工作在开关状态；
电力电子，为避免功率损耗过大，总在开关状态。

电力电子技术与电力学的关系

- 主要关系：电力电子技术广泛用于电力工程中。
- 电力电子装置广泛用于高压直流输电、静止无功补偿、电力机车牵引、交直流电力传动、电解、励磁、电加热、高性能交直流电源等电力系统和电气工程中。
- 通常把电力电子技术归属于电气工程学科。
- 电力电子技术是电气工程学科中一个最为活跃的分支，其不断进步给电气工程的现代化以巨大的推动力。

电力电子技术与控制理论的关系

- 控制理论广泛用于电力电子技术，使电力电子装置和系统的性能满足各种需求；
- 电力电子技术可看成“弱电控制强电”的技术，是“弱电和强电的接口”，控制理论是实现该接口的强有力纽带；
- 控制理论和自动化技术密不可分，电力电子装置是自动化技术的基础元件和重要支撑。

一、什么是电力电子技术?

3. 电力变换的类型:

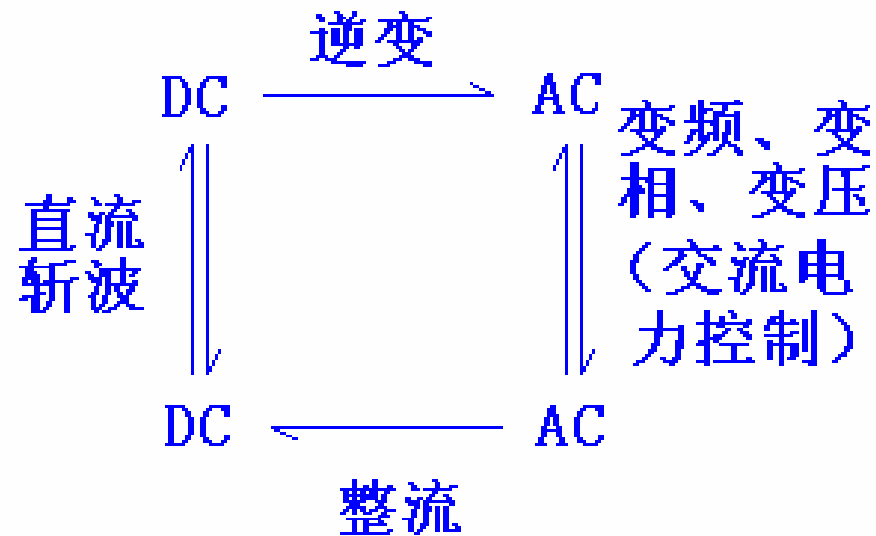


图0-2 常见的电力变换种类

一、什么是电力电子技术？

4. 电力电子技术分支和特点：

分为电力电子器件制造技术和变流技术两个分支。

〔特点〕

- 电力电子技术的发展集中体现在电力电子器件的发展上；
- 这些器件一般均工作在开关状态，这是重要特征；
- 电力电子技术是电气工程学科中目前最为活跃的分支。有人预言：电力电子技术和运动控制一起，和计算机技术共同成为未来科学技术的两大支柱。

二、电力电子技术的发展史

即为电力电子器件的发展史。以1958年美通用电气公司第一只晶闸管的诞生为标志，标志电力电子器件和技术的诞生。

〔四个阶段〕

➤ 史前期（1957年以前）：

使用水银整流器（汞整流器），其性能和晶闸管类似。

这段时间，各种整流、逆变、周波变流的电路和理论已经成熟并广泛应用。

➤ 晶闸管时代（1958~70年代）：

➤ 全控型器件时代（70年代后期）：

➤ 复合器件时代（80年代后期）：

1、电力电子技术的史前期

晶闸管出现前的时期，用于电力变换的电子技术已经存在：

- 1904年出现了电子管（Valve），能在真空中对电子流进行控制，并应用于通信和无线电，从而开了电子技术之先河；
- 后来出现了水银整流器（mercury-vapour thyratrons），其性能和晶闸管很相似。在30年代到50年代，是水银整流器发展迅速并大量应用的时期。它广泛用于电化学工业、电气铁道直流变电所以及轧钢用直流电动机的传动，甚至用于直流输电；
- 各种整流电路、逆变电路、周波变流电路的理论已经发展成熟并广为应用。在晶闸管出现以后的相当一段时期内，所使用的电路形式仍然是这些形式；
- 交流电变为直流电的方法除水银整流器外，还有发展更早的电动机—直流发电机组，即变流机组。和旋转变流机组相对应，静止变流器的称呼从水银整流器开始并沿用至今；
- 1947年美国贝尔实验室发明晶体管（transistor），引发了电子技术的一场革命；
- 最先用于电力领域的半导体器件是硅二极管。

2、晶闸管时代（1957年开始）

- 晶闸管 SCR(Silicon Controlled Rectifier)可通过门极控制开通，但通过门极不能控制关断，属于半控型器件。
- 晶闸管因其电气性能和控制性能优越，很快取代了水银整流器和旋转变流机组，应用范围也迅速扩大。电化学工业、铁道电气机车、钢铁工业（轧钢用电气传动、感应加热等）、电力工业（直流输电、无功补偿等）的迅速发展也有力地推动了晶闸管的进步。电力电子技术的概念和基础就是由于晶闸管及晶闸管变流技术的发展而确立的。
- 对晶闸管电路的控制方式主要是相位控制方式。
- 晶闸管的关断通常依靠电网电压等外部条件来实现。
- 目前由于其能承受的电压、电流容量仍是目前器件中最高的，而且工作可靠，所以许多大容量场合仍大量使用SCR。

3、全控型器件时代（70年代后期）

以 { GTO 可关断晶闸管
BJT(GTR) 电力双极型晶体管
Power-MOSFET 电力场效应管 } 为代表：

- 这些器件可以通过门极（或栅极、基极）控制开通和关断。
- 同时，这些器件可以达到的开关频率均较高。
- 这些器件大大推进了电力电子技术的发展。
- 和SCR电路的相位控制方式相对应，全控型器件电路常使用脉冲宽度调制（PWM Pulse Width Modulation）方式进行控制。

4、复合型器件时代（80年代后期）

复合型器件：以绝缘栅极双极型晶体管（IGBT Insulated-Gate Bipolar Transistor）为代表：

$$\text{IGBT} = \text{MOSFET} + \text{BJT}$$

- 它集MOSFET的驱动功率小、开关速度快的优点和BJT通态压降小、载流能力大的优点于一身，性能十分优越，使之成为现代电力电子技术的主导器件。
- 与IGBT相对应，MOS控制晶闸管（MCT）和集成门极换流晶闸管（IGCT）都是MOSFET和GTO的复合，它们也综合了MOSFET和GTO两种器件的优点。
- 功率集成电路：把驱动、控制、保护电路和功率器件集成在一起，构成功率集成电路（PIC）。目前其功率都还较小，但代表了电力电子技术发展的一个重要方向。

5、21世纪电力电子技术的前景

- 电力电子器件发展的目标是：大容量、高频率、易驱动、低损耗、小体积（高芯片利用率）、模块化。
- 新的控制技术的使用，以减小电力电子器件的开关损耗，如软开关技术：通过谐振电路使得器件在零电压（ZVS）或零电流（ZCS）的状态下进行开关。
- 电力电子应用系统向着高效、节能、小型化和智能化的方向发展。

三、电力电子技术的应用

1. 一般工业

- 直流电动机有良好的调速性能，给其供电的可控整流电源或直流斩波电源都是电力电子装置；
- 近年来电力电子变频技术的迅速发展，使交流电机的调速性能可与直流电机媲美，交流调速技术大量应用并占据主导地位。几百W到数千kW的变频调速装置，软起动装置等；
- 电化学工业大量使用直流电源，如电解铝、电解食盐水等。
- 冶金工业中的高频或中频感应加热电源、淬火电源及直流电弧炉电源等场合，需要大容量整流电源。电镀装置也需要整流电源。

三、电力电子技术的应用

2. 交通运输

电气化铁道中广泛采用电力电子技术：

- 电气机车中的直流机车中采用整流装置，交流机车采用变频装置。直流斩波器也广泛用于铁道车辆。在未来的磁悬浮列车中，电力电子技术更是一项关键技术。除牵引电机传动外，车辆中的各种辅助电源也都离不开电力电子技术。电动汽车的电机靠电力电子装置进行电力变换和驱动控制，其蓄电池的充电也离不开电力电子装置。一台高级汽车中需要许多控制电机，它们也要靠变频器和斩波器驱动并控制；
- 飞机、船舶需要很多不同要求的电源，因此航空和航海都离不开电力电子技术；
- 如果把电梯也算做交通运输，那么它也需要电力电子技术。以前的电梯大都采用直流调速系统，近年来交流变频调速成为主流。

三、电力电子技术的应用

3. 电力系统

- 电力电子技术在电力系统中有非常广泛的应用。最终用户在使用电能时常常需要进行预处理。如降压、滤波、无功补偿等。

据估计，发达国家在用户最终使用的电能中有60%以上至少经过一次电力电子变流装置的处理。电力系统在通向现代化的进程中，电力电子技术是关键技术之一。毫不夸张地说，离开电力电子技术，电力系统的现代化是不可想象的。

- 直流输电（HVDC）在长距离、大容量输电时有很大的优势，其送电端的整流阀和受电端的逆变阀都采用晶闸管变流装置。
- 近年发展起来的柔性交流输电（FACTS）可以大幅度提高电网输电能力和稳定性。

手段：快速、精确、连续地控制大容量有功和无功等参数实现对系统潮流变化、功率流向、输送能力、阻尼振荡的性能加以改进和提高。如有源滤波器（APF Active Power Filter）可进行用户端的无功补偿和谐波抑制。

三、电力电子技术的应用

4. 不间断电源（UPS）和各种开关电源

这一类的应用最为普遍。

各种电子装置一般都需要不同电压等级的直流电源供电。通信设备中的程控交换机所用的直流电源以前用晶闸管整流电源，现在已改为采用全控型器件的高频开关电源。大型计算机所需的工作电源、微型计算机内部的电源现在也都采用高频开关电源。在各种电子装置中，以前大量采用线性稳压电源供电，由于高频开关电源体积小、重量轻、效率高，现在已逐渐取代了线性电源。

三、电力电子技术的应用

5. 家用电器

- 照明在家用电器中有十分突出的地位。由于电力电子照明电源体积小、发光效率高、可节省大量能源，通常被称为“节能灯”，正逐步取代传统的白炽灯和日光灯。
- 变频空调器是家用电器中应用电力电子技术的典型例子之一。电视机、音响设备、家用计算机等电子设备的电源部分也都需要电力电子技术。此外，有些洗衣机、电冰箱、微波炉等电器也应用了电力电子技术。

三、电力电子技术的应用

6. 新能源的开发和利用

- 传统的发电方式是火力发电、水力发电以及后来兴起的核能发电。能源危机后，各种新能源、可再生能源及新型发电方式越来越受到重视。其中太阳能发电、风力发电的发展较快，燃料电池更是备受关注。太阳能发电和风力发电受环境的制约，发出的电力质量较差，常需要储能装置缓冲，需要改善电能质量，这就需要电力电子技术。当需要和电力系统联网时，也离不开电力电子技术。
- 为了合理地利用水力发电资源，近年来抽水储能发电站受到重视。其中的大型电动机的起动和调速都需要电力电子技术。超导储能是未来的一种储能方式，它需要强大的直流电源供电，这也离不开电力电子技术。
- 核聚变反应堆在产生强大磁场和注入能量时，需要大容量的脉冲电源，这种电源就是电力电子装置。科学实验或某些特殊场合，常常需要一些特种电源，这也是电力电子技术的用武之地。

四、课程内容简介

课程内容可分为三大部分：

第一部分：电力电子器件

第1章(全书的基础)

- 主要介绍各种电力电子器件的基本结构、工作原理、主要参数、应用特性，以及驱动、缓冲、保护、串并联等器件应用的共性和基础性问题；
- 在各种器件中，晶闸管SCR、GTO、GTR、IGBT、电力MOSFET应用最为广泛。为本课程介绍重点。

四、课程内容简介

第二部分：各种电力电子电路的分析、计算和基本实验

- 掌握按图0-2所示的常见电力变换的电路的基本原理、波形分析和各种负载对电路工作的影响分析和初步设计、计算。

在内容的介绍中，突出共同的分析方法对理解电路的工作原理十分有益例如，电力电子电路是非线性的，但当电路中各开关器件通断状态完成后，又可按线性电路来分析。这一基本分析方法对各种电力电子电路都是适用的。

- 掌握基本变流装置的调试试验方法。

四、课程内容简介

第三部分：脉宽调制（PWM）技术和软开关技术

- PWM控制技术中没有新的电路拓扑出现，但由于采用了这一新的控制方法，使电力电子电路的性能有了很大的改善，一些以前难以实现的控制策略借助这一技术而得以实现。
- PWM控制方法对电力电子技术的发展产生了深刻的影响，它适用于图0-2中所列的各种电力变换电路。
- 软开关技术（补充内容）是近年出现的一种新技术，它对提高工作频率，提高功率密度，提高效率都有重要意义；
- 软开关电路一般并不改变原来的基本电路，而是在其基础上附加了一些电路，从而实现软开关；
- 软开关技术也适用于各种电力电子电路。

课程的计分方案

期末考试: 70%

作业: 10%

平时考勤: 10%

实验: 10%

我的联系方式

姓 名：赵 为

办公电话：2901428

住宅电话：2903318



hut_zhaowei@263.net

hut_zhaowei@sohu.com