



东南大学 自动化学院

《电力电子技术》 电子教案

授课教师：张凯锋

2013年9月

个人情况介绍

姓 名：张凯锋

自动化学院 智能机器人与智能控制研究所

办公室：东南大学中心楼413（四牌楼）

电 话：83790871转6号分机

手 机：13813854412

E-mail: kaifengzhang@seu.edu.cn

有关电子教案、参考资料可在学院网上获取。

课程简介

电力电子技术 (power electronics)

专业主干课程 (专业基础课)

研究生专业: 电力电子与电力传动

基础课程:

- 电子学 (模拟电子、数字电子等)
- 电工学 (电路、电机等)
- 控制理论 (自动控制原理、现代控制理论等)

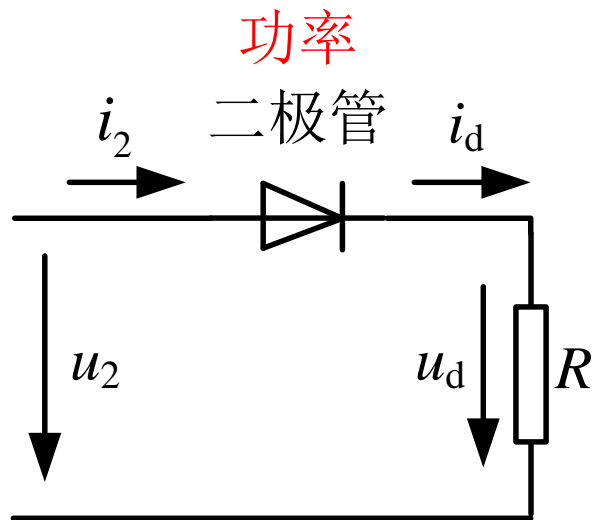
后续课程: 《电力拖动与运动控制》

课程简介（续）

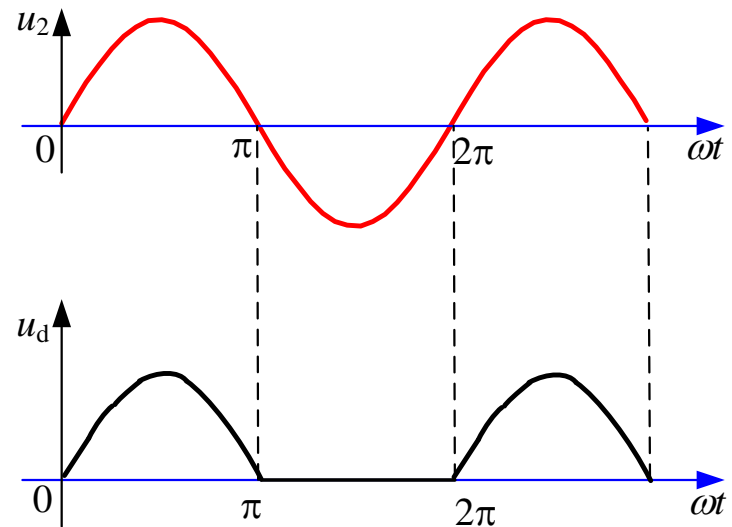
电力电子技术（power electronics）

应用于电力领域的电子技术，使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。

一个简单的例子：



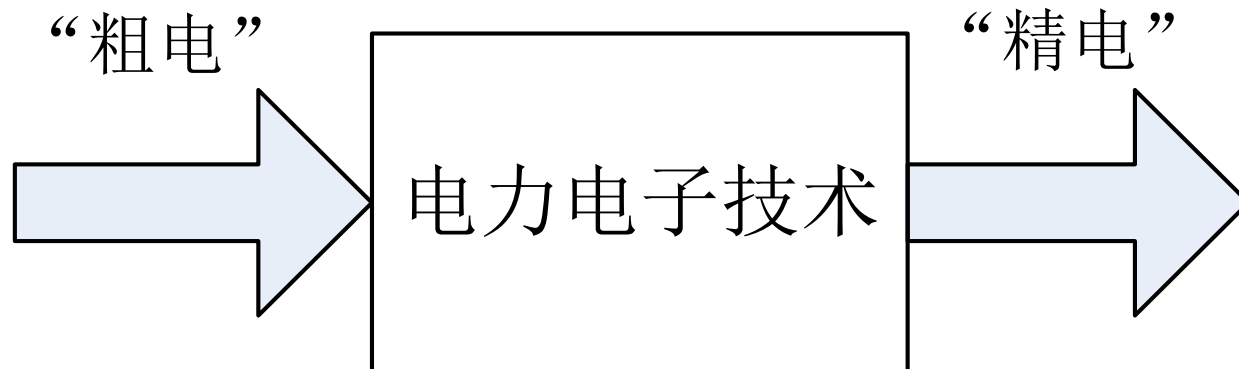
AC → DC



电力电子技术的定义

IEEE(美国电气和电子工程师协会)给出的定义:

有效的使用**电力半导体器件**，应用电路和设计理论以及分析开发工具，实现对电能**的高效能变换和控制**的一门技术。



本次课将要学习的主要内容

0 绪论

0.1 电力电子技术的内容

0.2 电力电子技术的发展

0.3 电力电子技术的重要作用

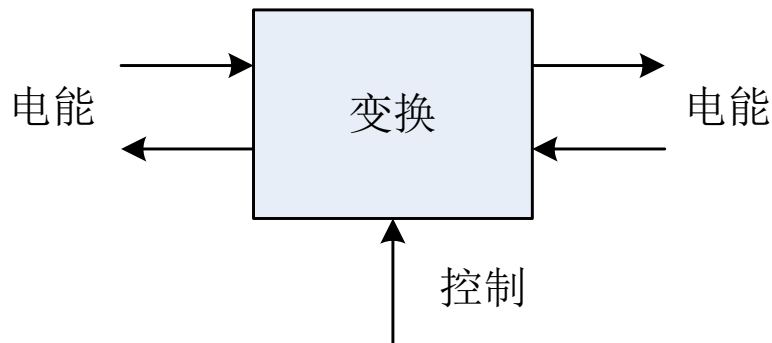
0.4 本课程的性质、分析方法和学习要求

补充内容：功率二极管

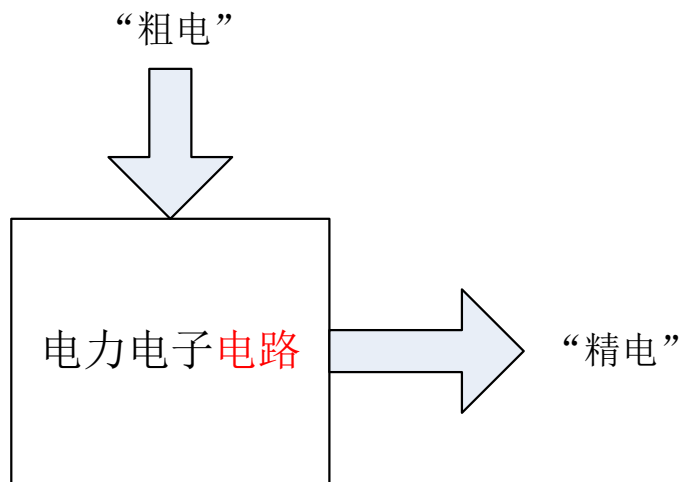
1.1 普通晶闸管（开个头）

电力电子技术的主要内容

电力电子技术 (power electronics)



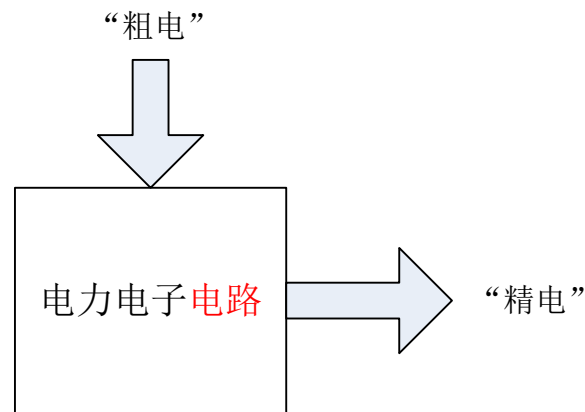
第1个重要概念：电力电子电路



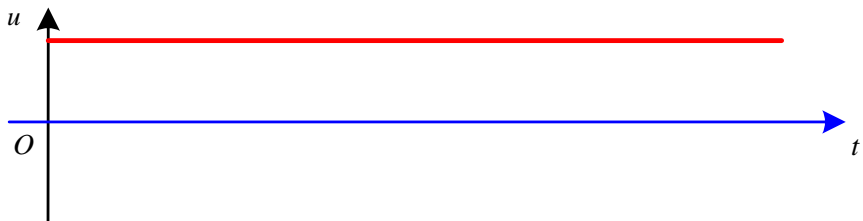
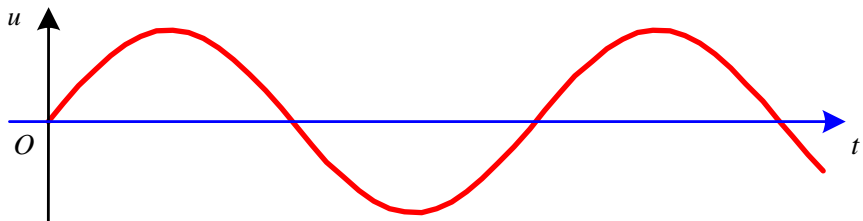
- 电路
- AC→DC (整流)
 - DC→AC (逆变)
 - DC→DC (直流变换)
 - AC→AC (交流电力控制)

第1个重要概念：电力电子电路

电路 {
AC→DC (整流)
DC→AC (逆变)
DC→DC (直流变换)
AC→AC (交流电力控制)



AC→DC (整流电路)

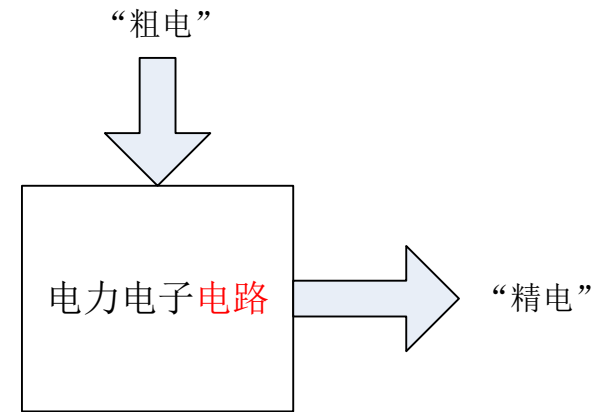


例如用于充电器。

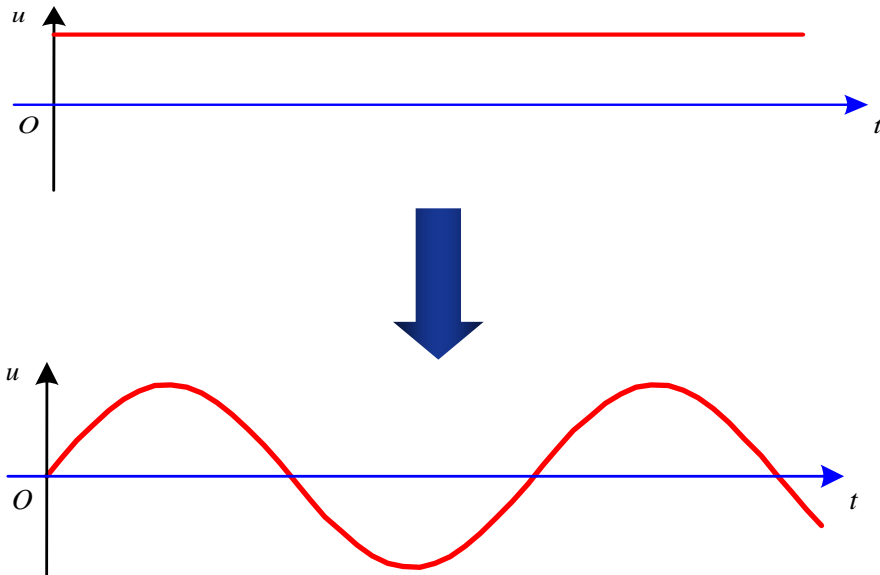


第1个重要概念：电力电子电路

电路 {
AC→DC (整流)
DC→AC (逆变)
DC→DC (直流变换)
AC→AC (交流电力控制)



DC→AC (逆变电路)



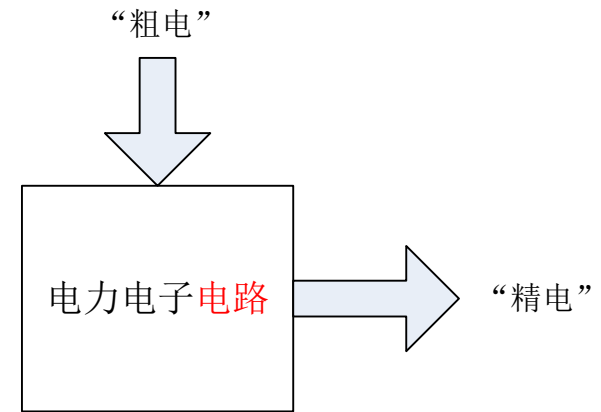
例如用于节能灯。



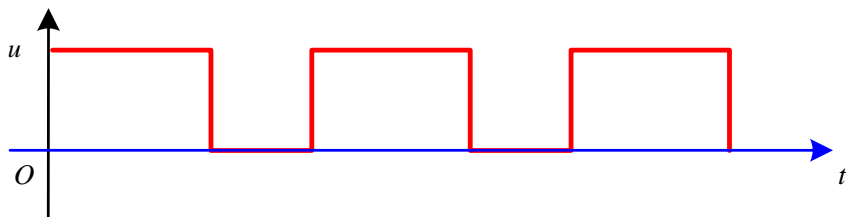
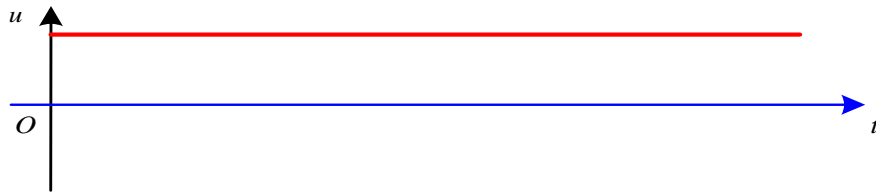
输出：20kHz~50kHz

第1个重要概念：电力电子电路

电路 {
AC→DC (整流)
DC→AC (逆变)
DC→DC (直流变换)
AC→AC (交流电力控制)



DC→DC (直流变换)

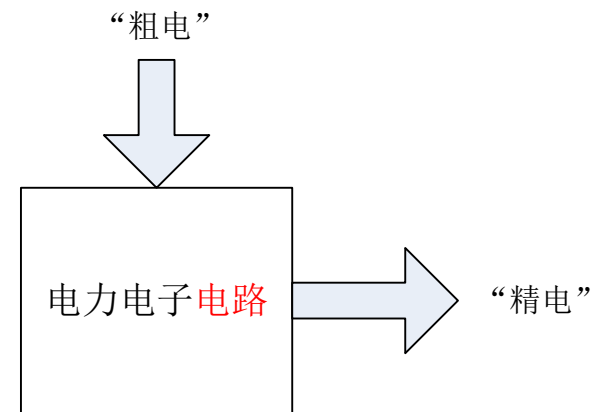


例如用于直流电动机控制。



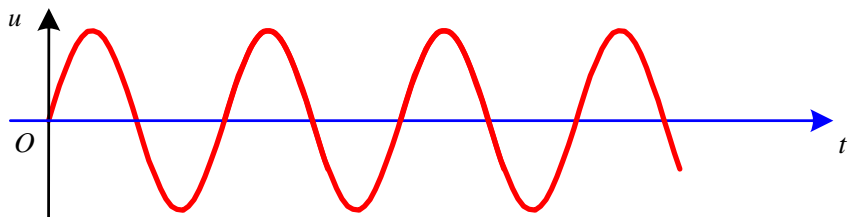
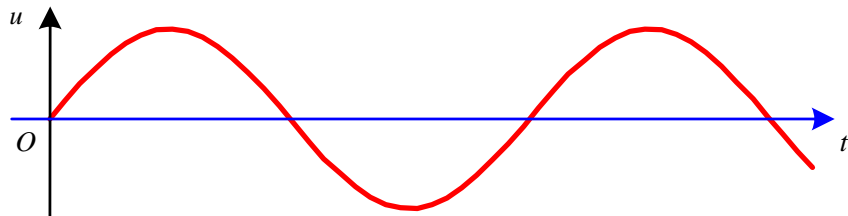
第1个重要概念：电力电子电路

电路 {
AC→DC (整流)
DC→AC (逆变)
DC→DC (直流变换)
AC→AC (交流电力控制)

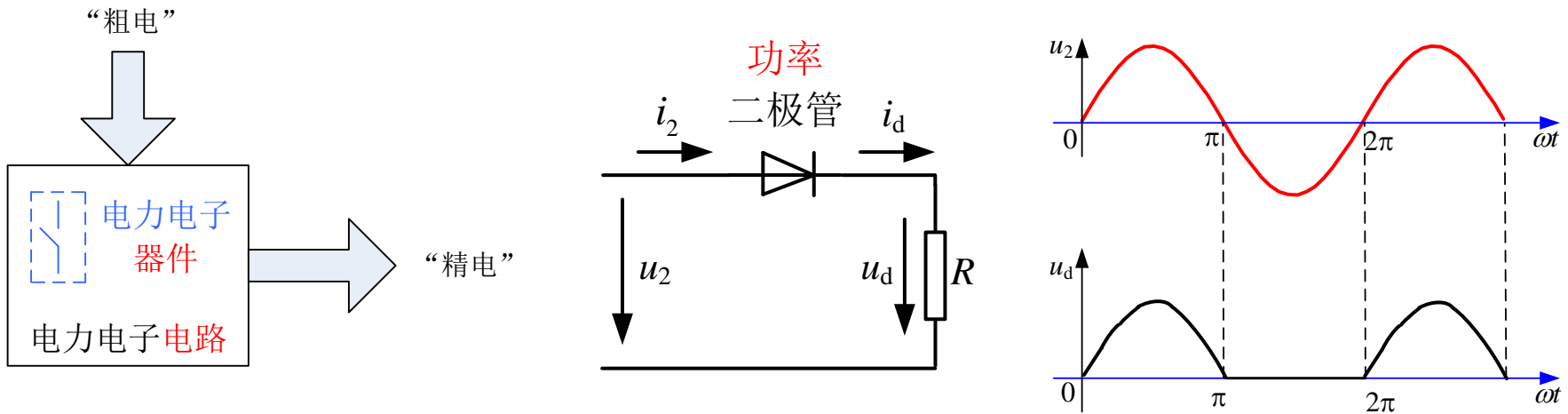


AC→AC (交流电力控制)

例如用于变频空调。



第2个重要概念：电力电子器件



按照器件能够被控制的程度，分为3类：

➤ 不可控器件

不能用控制信号来控制其通断

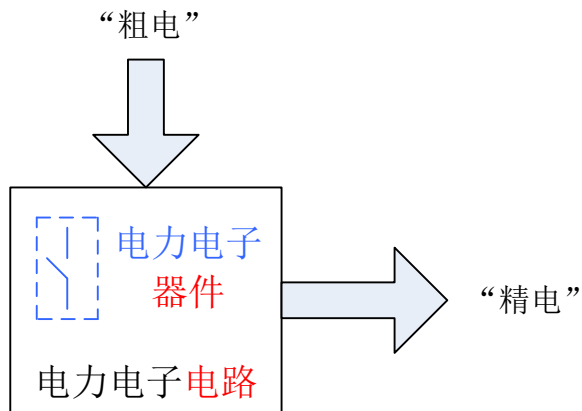
➤ 半控型器件

通过控制信号可以控制其导通，但不能控制其关断

➤ 全控型器件

通过控制信号既可控制其导通又可控制其关断

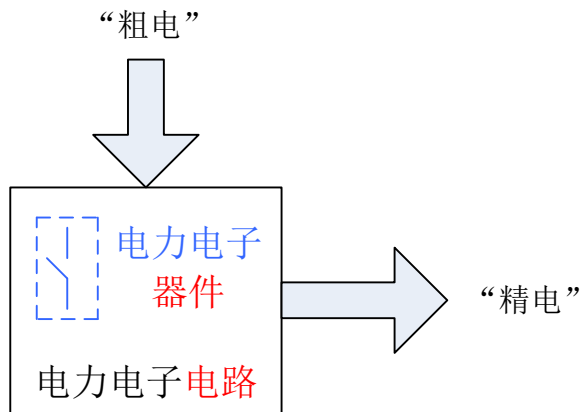
第2个重要概念：电力电子器件



- 不可控器件
- 半控型器件
- 全控型器件



第2个重要概念：电力电子器件

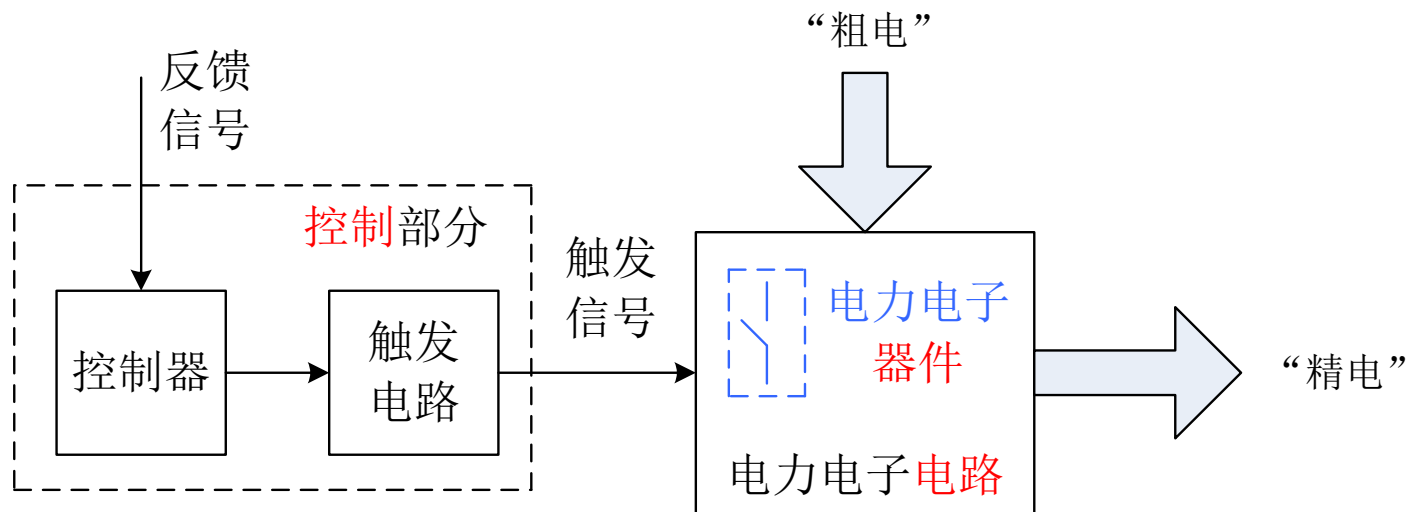


- 不可控器件
- 半控型器件
- 全控型器件

➤ 实现电能变换的“物质”手段。

➤ 是电力电子学（技术）发展的根本推动力。

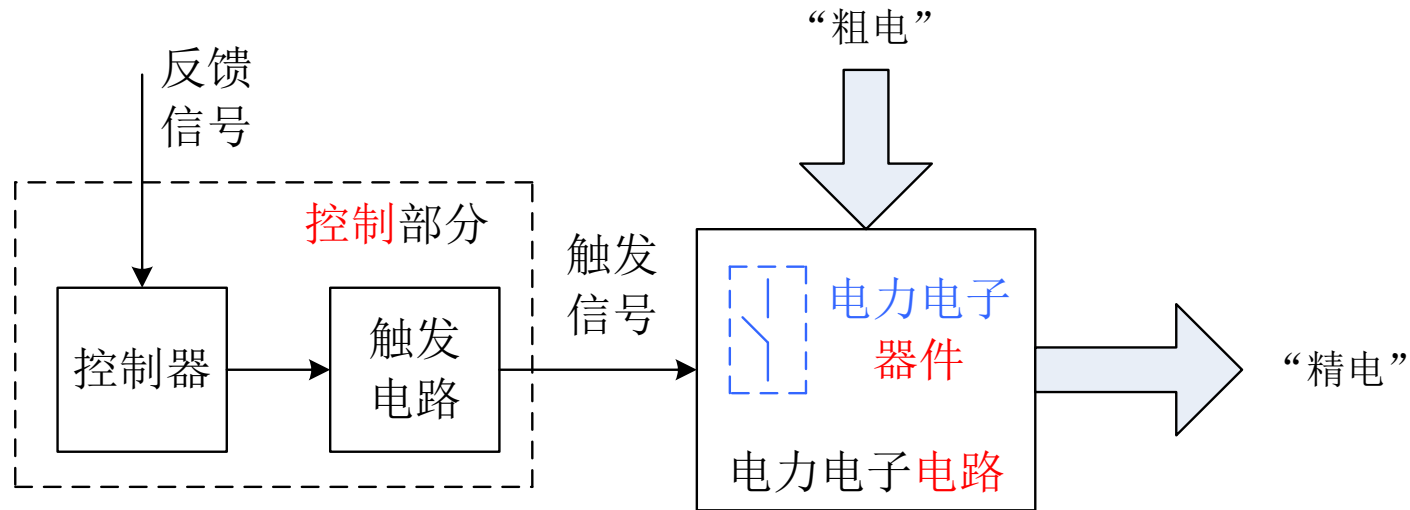
第3个重要概念：控制部分



控制部分 {

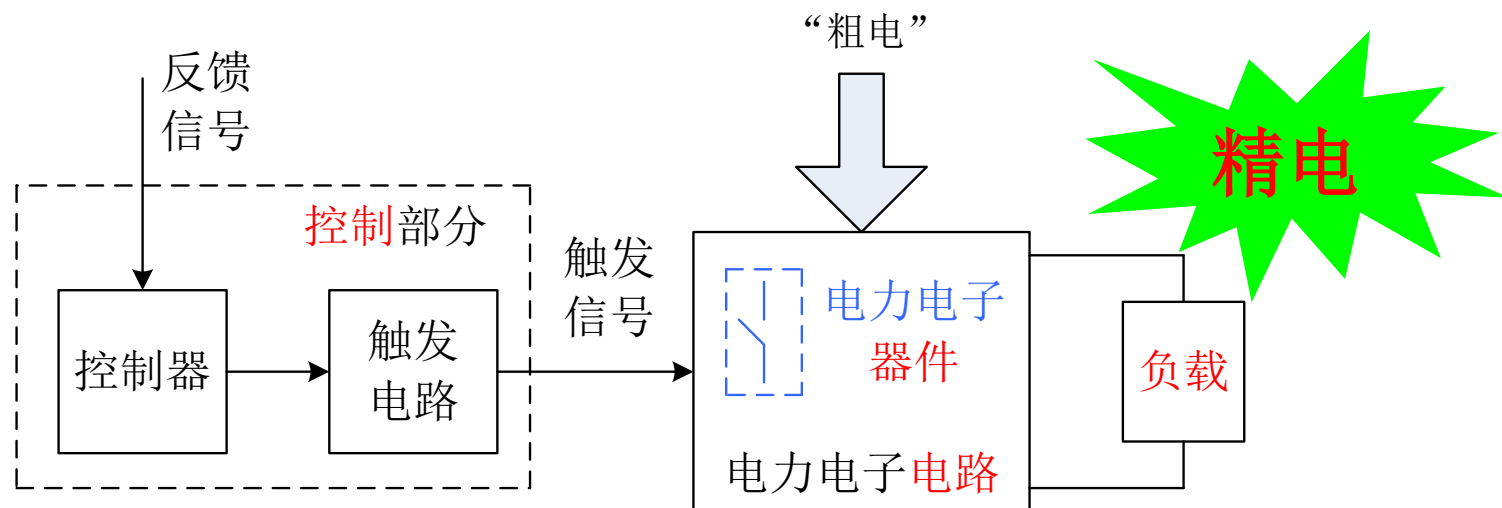
- 触发信号
- 触发电路
- 控制方法

第3个重要概念：控制部分



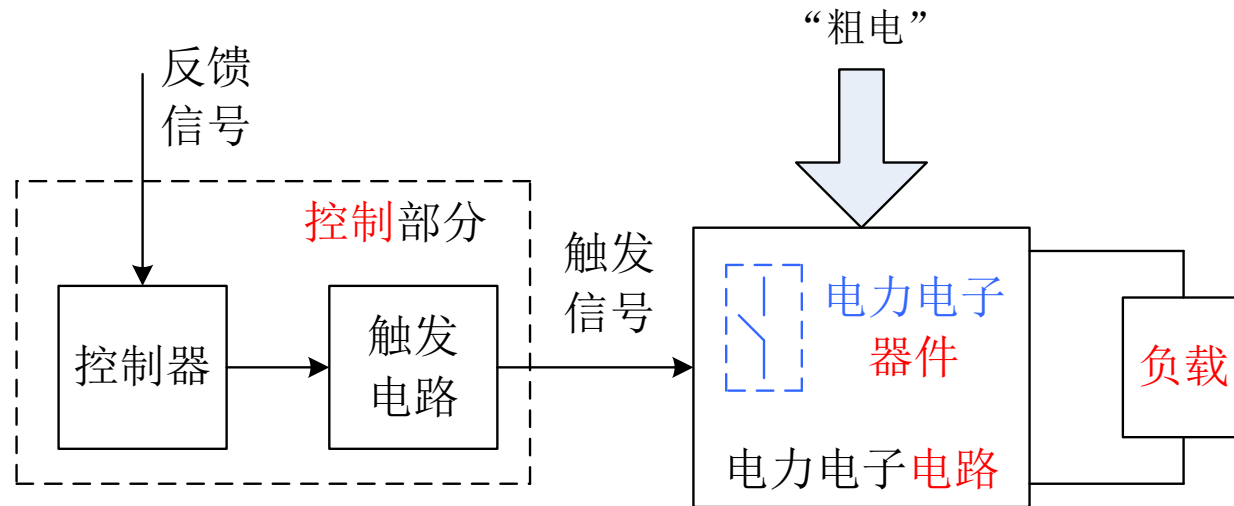
- 控制——弱控制强
- 电力电子技术可看成“弱电控制强电”的技术
- 控制理论是实现“弱电和强电的接口”的强有力纽带

第4个重要概念：负载



- 负载 {
- 电阻负载
 - 阻感负载
 - 反电势负载 直流电动机负载

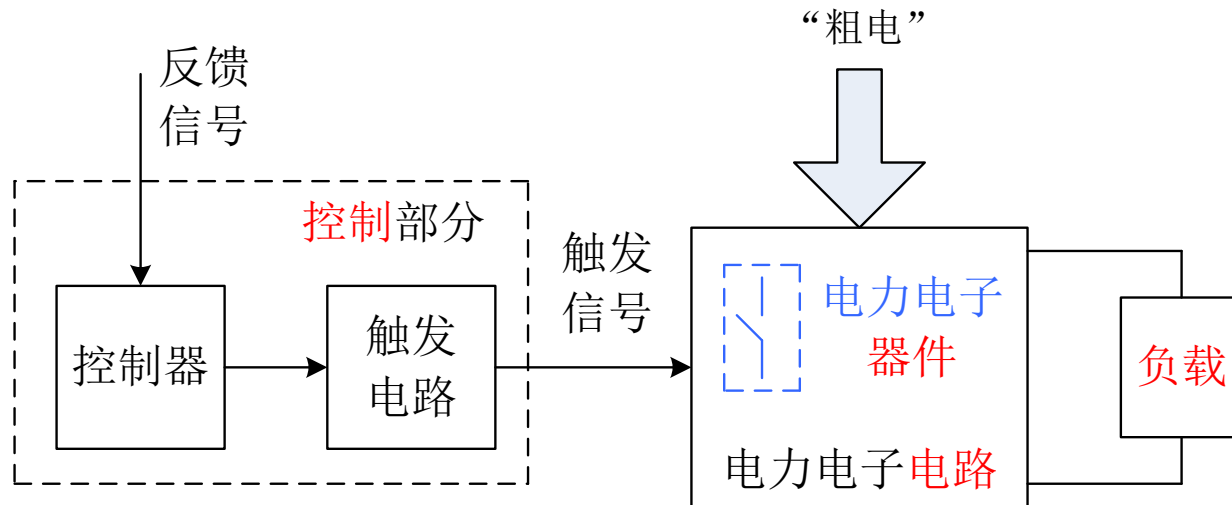
小结（电力电子技术的内容）



4个重要概念：

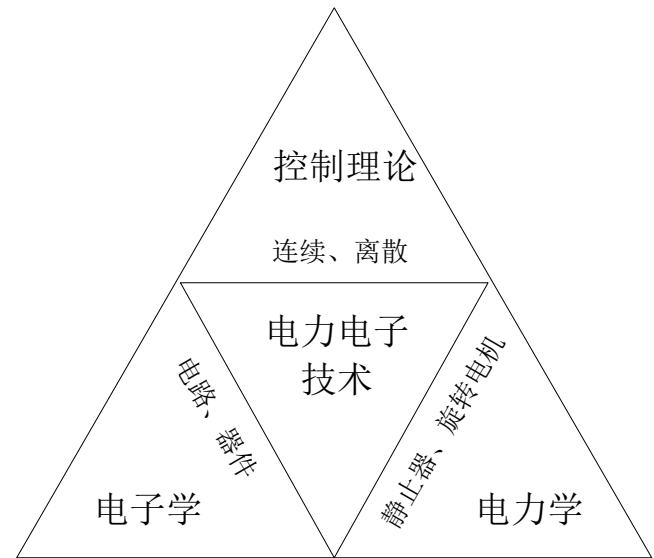
- 电力电子电路
- 电力电子器件
- 控制部分
- 负载

小结（电力电子技术的内容）



➤是电力、电子、控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科。

➤与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等诸多领域密切相关。



补充：电力电子技术与信息电子技术的关系

- 强电 VS 弱电

电力（功率，power） VS 信息（information）

信息电子技术变换的是“**信息**”。主要用于信息处理。

电力电子技术变换的是“**电力**”。可大到数百MW甚至GW，也可小到1W以下。主要用于电力变换。

信息：情报。

电力：能量。（各有侧重）

电力电子器件与一般电子器件

- ▶ 电子技术的基础是**一般电子器件**（晶体管、集成电路）。
- ▶ 电力电子技术的基础是**电力电子器件**。

电力电子器件的不同之处：

- ▶ 能处理电功率的能力一般**远大于**处理信息的电子器件；
- ▶ 自身的功率损耗**远大于**信息电子器件，一般都要安装散热器；
- ▶ 一般都工作在**开关状态**；
- ▶ 往往需要由信息电子电路来控制。

电力电子技术与信息电子技术关系小结

- ▶ 信息电子技术是电力电子技术的基础；
- ▶ 电力电子技术较信息电子技术处理的功率大（**远大于**）。
- ▶ 电力电子技术一般都需依赖于信息电子技术进行控制。

2. 电力电子技术的发展

电子技术的发展史（包括信息电子技术和电力电子技术）：

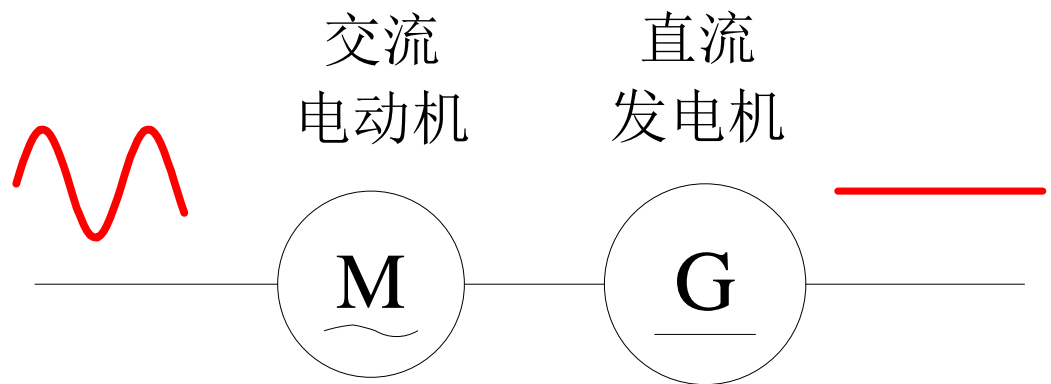
在（真正意义上的）电力电子技术出现以前，用于电力变换的电子技术就已经存在：

- 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），可实现大功率的电能控制。在30年代到50年代，是其发展迅速并大量应用的时期。广泛用于电化学、电气铁道、轧钢、直流输电等行业。

2. 电力电子技术的发展（续）

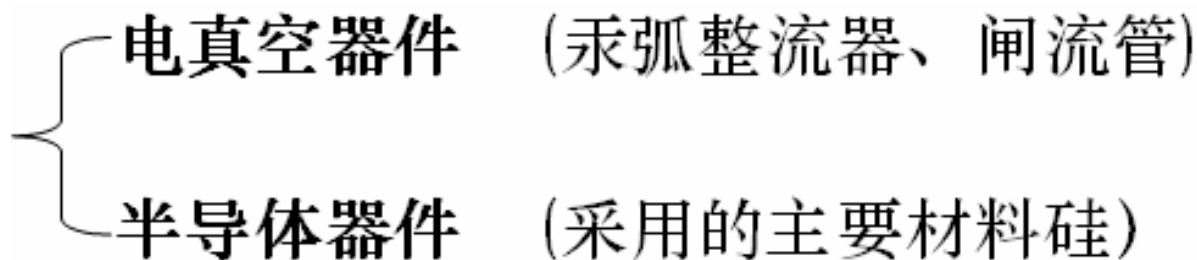
- 各种整流电路、逆变电路、周波变流电路的理论已经发展成熟并广为应用。在(真正的)电力电子技术出现以后的相当一段时期内，所使用的电路形式仍然是这些形式；
- 交流电变为直流电的方法除水银整流器外，还有发展更早的电动机—直流发电机组，即变流机组。**和旋转变流机组相对应，静止变流器的称呼从水银整流器开始并沿用至今；**



变流机组示意图

2. 电力电子技术的发展（续）

文献中最早出现**电力电子**名词是1969年H.F.Storm (上世纪50-60年代国际著名的磁放大器专家) 在IEEE Spectrum 上发表的文章：美国的**固态**电力电子技术(**Solid State Power Electronics in USA**)。



2. 电力电子技术的发展（续）

- 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（**属于不可控型器件**）。
- 1956年美国贝尔实验室发明了晶闸管；1957年美国通用电气公司（GE）开发出第一只晶闸管产品；1958年商业化。
- **真正标志着电力电子器件和技术的诞生。**

2. 电力电子技术的发展（续）

晶闸管
照片



2. 电力电子技术的发展（续）

- 晶闸管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。

20世纪60年代开始，进入“晶闸管时代”。

2. 电力电子技术的发展（续）

- 20世纪70年代，出现了既可以控制其导通又可控制关断的**全控型电力电子器件**（亦称自关断型器件）。如以门极可关断晶闸管GTO、电力晶体管GTR、电力双极型晶体管BJT、电力场效应管Power-MOSFET为代表。
- 20世纪80年代后期，出现绝缘栅极双极型晶体管IGBT（复合型器件）。

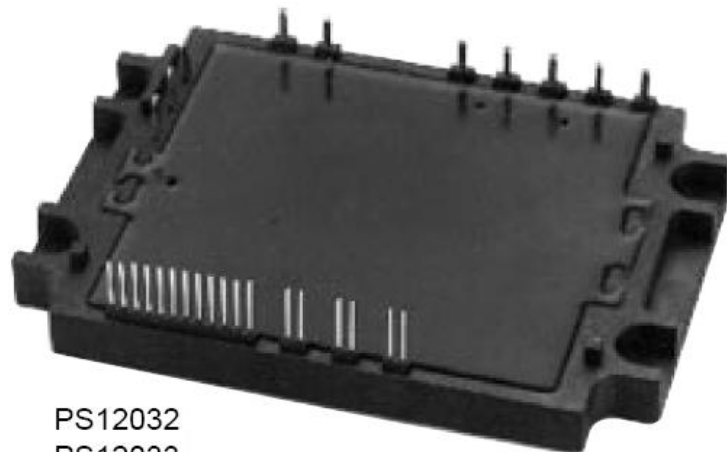


2. 电力电子技术的发展（续）

智能功率模块（IPM），又称智能集成电路

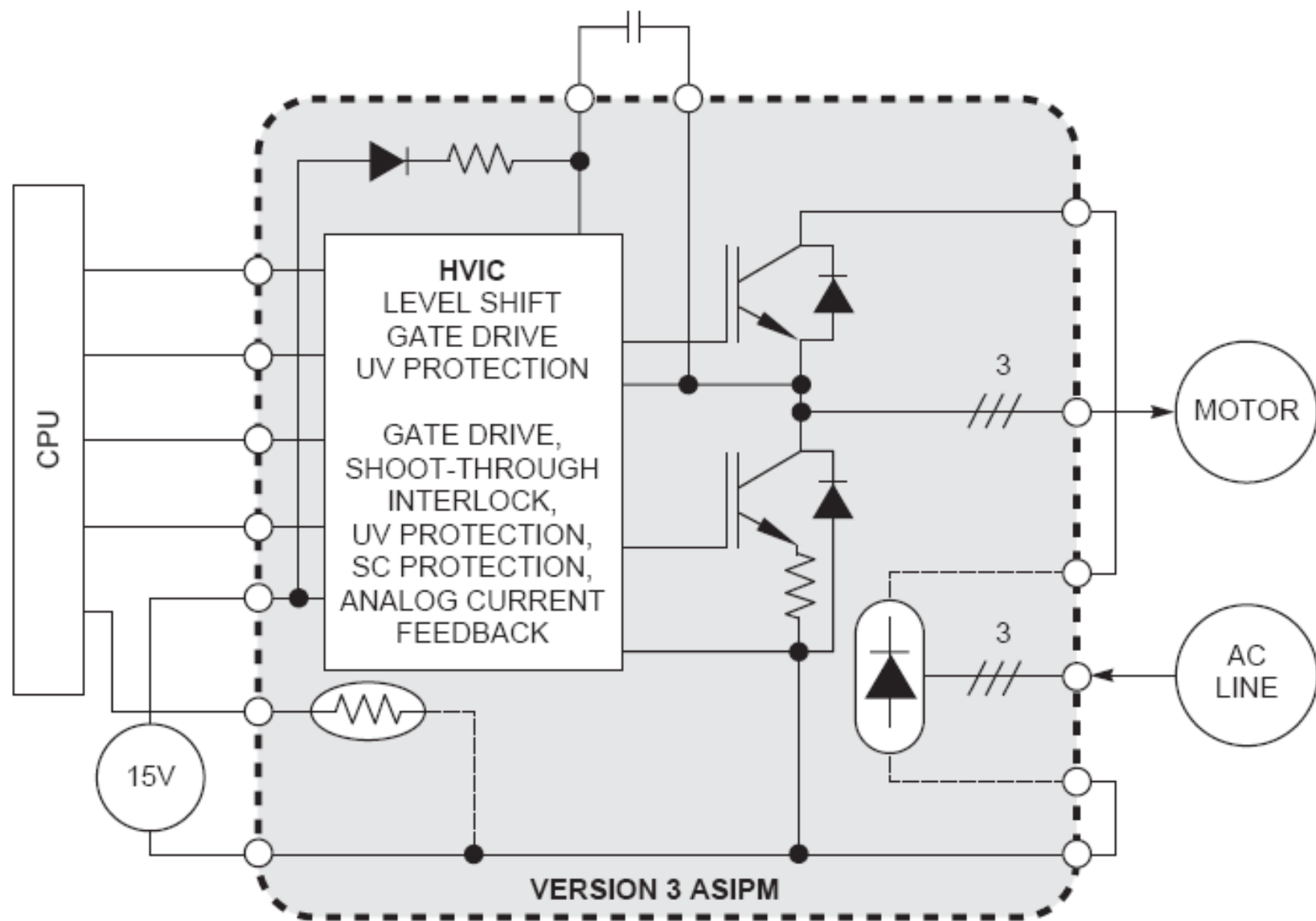
把驱动、控制、保护电路和功率器件集成在一起，构成功率集成电路（PIC）。

三菱公司：ASIPM (Application Specific Intelligent Power Module)



PS12032
PS12033
PS12034
PS12036

Figure 2.1 Version 3 ASIPM Block Diagram

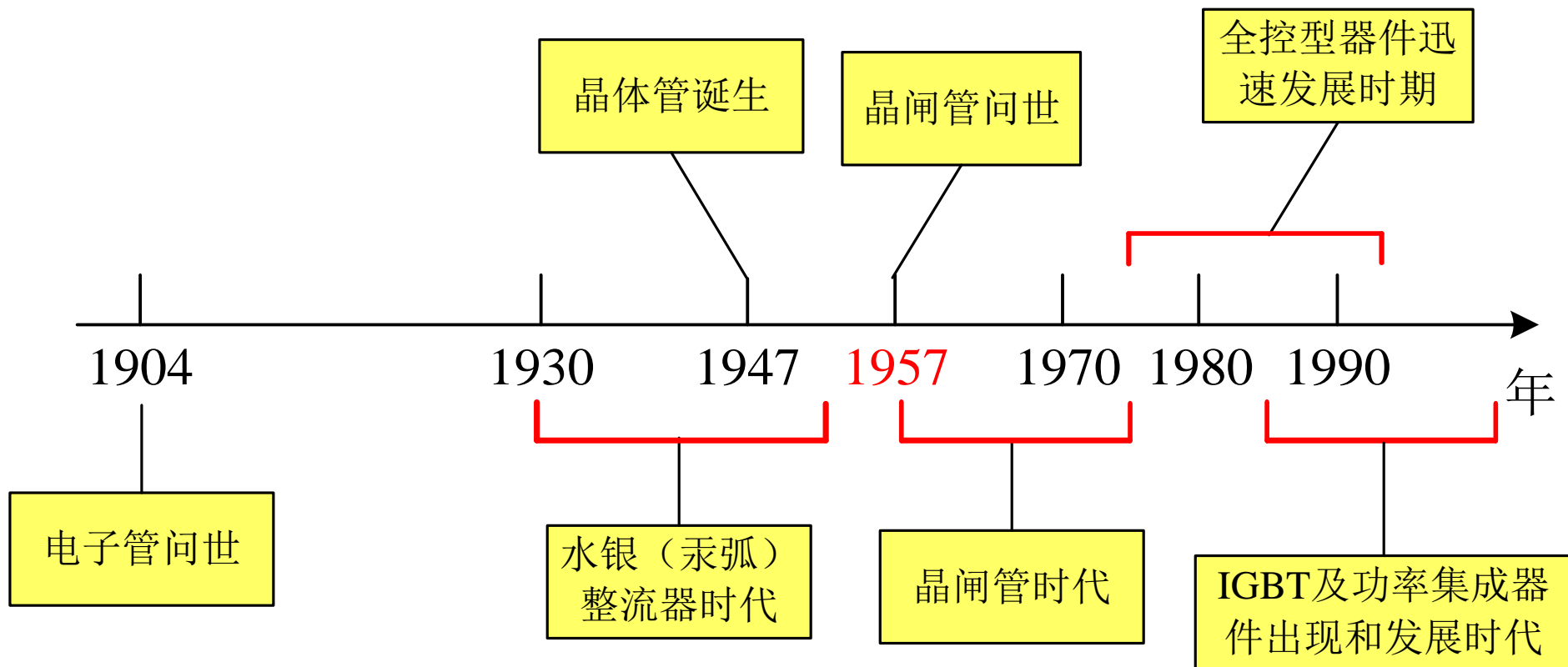


2. 电力电子技术的发展（续）

未来发展方向：

- 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。

2. 电力电子技术的发展



电力电子技术的发展史是以电力电子器件的发展史为纲的。

补充材料

Dr. William E. Newell 简介

电力电子领域的**先驱**。

1973年6月，IEEE三个学会——宇航及电子系统(AES)、工业应用(IAS)、电子器件(PDS)联合举办IEEE电力电子专家会议(PESC'73)。



会上, Dr. William E Newell 的主题讲演:
电力电子从不被重视到脱颖而出(Power Electronics--Emerging from Limbo)。

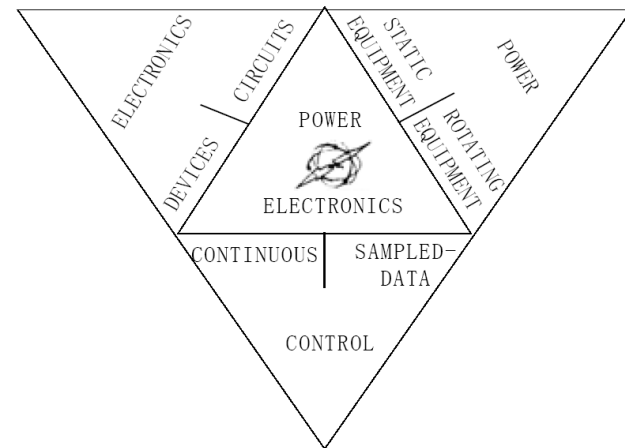
• 首次给出电力电子的经典定义:

电力电子技术是电气工程三大学科(电子、电力和控制)的交叉。

• 建议尽快建立电力电子学这一新的重要学科和专业。

• 为IEEE电力电子学会的建立播下了种子。

• 一系列准确的预测。



3. 电力电子技术的重要作用

- 一般工业
交直流电机、电化学工业、冶金工业
- 交通运输
电气化铁道、电动汽车、航空、航海
- 电力系统
高压直流输电、柔性交流输电、无功补偿
- 电力装置电源
为信息电子装置提供动力
- 家用电器
“节能灯”、变频空调
- 其他
UPS、航天飞行器、新能源、发电装置

3. 电力电子技术的重要作用-一般工业

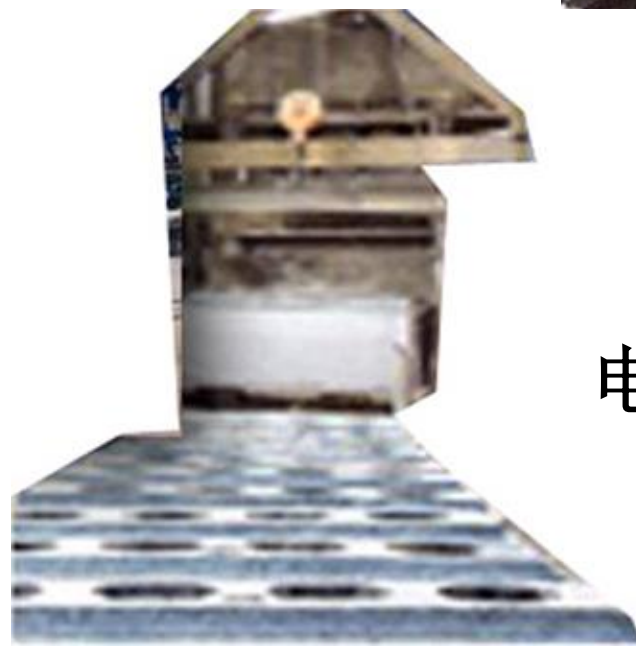


轧钢机

冶金工业



数控机床



电解铝

3. 电力电子技术的重要作用-交通运输



3. 电力电子技术的重要作用-电力系统



高压直流 (HVDC)



静止电压控制器 (SVC)

3. 电力电子技术的重要作用-家用电器



节能灯（普通照明用自镇流荧光灯）

核心部分：开关振荡源。
交流→整流→滤波→直流
振荡源输出：**20kHz~50kHz**



变频空调

3. 电力电子技术的重要作用-其他



航天技术



不间断电源 (UPS)

3. 电力电子技术的重要作用

总之，电力电子技术的应用范围十分广泛，激发人们学习、研究电力电子技术并使其飞速发展。

电力电子装置提供给负载的是各种不同的电源，因此可以说，电力电子技术研究的也就是**电源技术**。

电力电子技术对节省电能有重要意义。特别是在大型风机、水泵采用变频调速，在使用量十分庞大的照明电源等方面，因此它也被称为**节能技术**。

4.本课程的性质、分析方法和学习要求

课程性质：自动化专业、电气工程专业必修的技术基础课、专业课。

分析方法：

- 波形分析
- 过渡过程分析（求解微分方程）

学习要求：

- 了解各种功率开关器件的特性和参数；
- 了解各种变流电路的工作原理；
- 了解各种开关元件的控制和保护，各种电路的特点；
- 掌握基本的实验方法。

补充材料

参考书目：

- 王兆安，黄俊，《电力电子技术》（第4版），机械工业出版社，2000

相关杂志：

- 电气技术；其中有“PE电力电子”部分
- 电气传动；其中有“交、直流调速”、“变流技术”等相关部分
- 电工技术学报
- 电工技术杂志
- **IEEE Transactions on Power Electronics**

考核办法

考试形式：闭卷

成绩构成：

期末考试	70%
实验	20%
作业、考勤	10%

作业（0 绪论）

- 1、常见的有哪4种电力变换类型，并列举其实际应用实例。
- 2、举例说明有哪几类电力电子器件。
- 3、与信息电子技术相比，电力电子技术有哪些异同点？试着分析二者之间的关系。
- 4、选取一个感兴趣的电力电子应用例，较为详细地说明其原理或功能。



谢谢！
请提宝贵意见！