

现代 电力电子元器件 识别、检测及应用

徐远根 刘 敏 乔恩明 编著
戴志平 主审



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

现代 电力电子元器件 识别、检测及应用

徐远根 刘 敏 乔恩明 编著
戴志平 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

本书以电力电子技术中最常用元器件应用为主线,从电力电子器件原理开始,详细介绍电力电子器件的结构、原理和性能参数;并结合电力电子器件的特点,介绍元器件的识别、检测、应用技术,包括元器件的选型,驱动、缓冲、保护和电力电子变换电路;然后通过应用电路实例,加深学习的效果。书中主要内容包括:快恢复二极管、功率场效应管、绝缘栅双极型晶体管、晶闸管与可关断晶闸管、IPM 功率集成电路、栅极专用驱动电路、PWM 脉宽调制集成控制电路、传感器、特殊电容器以及磁性材料与磁性元件等。

本书内容丰富,深入浅出,通俗易懂,具有很高的实用价值。本书适用于开关电源初学者和开关电源从业者,也适合电气工程及其自动化专业、电子技术以及其他相关专业本科生、研究生阅读,还可作为相关专业工程技术人员与维修人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代电力电子器件识别、检测及应用/徐远根,刘敏,乔恩明编著. —北京:中国电力出版社,2010.4

ISBN 978-7-5123-0137-5

I. ①现… II. ①徐… ②刘… ③乔… III. ①电子元件②电子器件 IV. ①TN6②TM503

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 028660 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月北京第一次印刷

1000 毫米×1400 毫米 B5 开本 22.75 印张 460 千字

印数 0001—3000 册 定价 45.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言



电力电子技术是以电力电子器件为基础的一门学科。电力电子器件是一种能够实现电能高效率应用和精确控制的电力半导体器件。由于电力电子技术的广泛应用,在过去的10年中,电力电子器件技术取得了显著进步,种类繁多,新品种不断涌现,如超级结概念的引入,使功率 MOSFET 的特性有了突破性进展;沟槽型 (Trench) 栅极结构、场终止型结构 (Field Stop) 概念的出现,使功率 MOSFET、IGBT 的性能得到了显著提高。IGBT 发展最令人振奋,性价比持续提高,并实现了高压化,成为当今应用最广泛的电力电子器件。

电力电子器件是各类电力电子设备、电力电子工程的核心组成部分。同样,掌握电力电子器件的相关知识也是学习电力电子技术的一个重要步骤。由于诸多原因,很多刚走出大学校门的同学在应用这些元器件的相关知识时,总觉得所学知识与现实有点脱节,导致学习兴趣不高或者感觉学习起来难度很大。本书是作者通过多年实践并收集大量资料的基础上浓缩而成,希望能为读者有所帮助。

本书力图以通俗易懂的方式,从电力电子器件原理出发,将电力电子器件的结构、原理和性能参数介绍给大家,并结合电力电子器件的特点,介绍元器件的识别、检测、应用技术,包括元器件的选型,驱动、缓冲、保护和电力电子变换电路。在写作方式上,本书采取实物图片的形式对各种元器件进行详细介绍,使读者可以零距离地认识这些元器件,通过识别和检测学到这些知识的精华,做到学以致用。再通过电路实例,使读者在学习元器件知识的同时可以掌握各种电路的原理,加深理解、快速提高应用能力。

本书可作为电力电子、电气传动专业及相关专业本科生、研究生的参考书,也可供从事开关电源、逆变器等电力电子装置开发、设计的工程技术人员学习、查阅。希望本书的出版能对国内广大从事电力电子技术的科研人员有所帮助,在促进我国电力电子产品性能的提高方面发挥一点作用。

本书中引用了国内外许多专家、学者的著作、论文等文献,在此表示衷心的感谢。

本书第一、三、四、五、十章由乔恩明编写,第六、七、八章由王曦(沈阳理工大学)编写,第十三章由刘敏编写,第二、十一章由章凯波编写,第九、十二章由郑利勇编写。乔恩明、刘敏拟定了本书的章、节目录和编写大纲,刘敏审阅了全部书稿。由于作者水平和所见资料有限,加之编写时间仓促,难免有不妥之

处及错误存在，望广大读者批评指正。

在本书的编写过程中，得到了武汉雷升电子有限责任公司的支持和帮助，另外，许掌林等对本书提出了宝贵意见，在此表示感谢。

编 者

目 录



前言

第一章 绪论 1

- 第一节 电力电子元器件的概念和特征 1
- 第二节 电力电子元器件的分类 3
- 第三节 电力电子元器件的发展历程 4
- 第四节 电力电子元件 6
- 第五节 电力电子元器件的应用与展望 6

第二章 快速功率二极管 11

- 第一节 快速功率二极管的工作原理 11
- 第二节 快速功率二极管的识别 15
- 第三节 快速二极管的检测 17
- 第四节 快速二极管的选择与应用 19

第三章 晶闸管 (SCR) 29

- 第一节 晶闸管结构与工作原理 29
- 第二节 双向晶闸管 33
- 第三节 晶闸管的识别与检测 34
- 第四节 晶闸管的应用 39

第四章 功率场效应管

(MOSFET) 44

- 第一节 功率 MOSFET 的结构和工作原理 44
- 第二节 功率 MOSFET 的特性 45
- 第三节 功率 MOSFET 的其他特点 49
- 第四节 功率 MOSFET 的识别与检测 52
- 第五节 功率 MOSFET 的应用电路 57

第五章 绝缘栅双极晶体管

(IGBT) 75

- 第一节 IGBT 的基本结构 75
- 第二节 IGBT 的基本工作原理 77
- 第三节 IGBT 的特性与参数 79
- 第四节 IGBT 的识别与选择 85
- 第五节 IGBT 的检测与使用 100
- 第六节 IGBT 的驱动和保护电路 104

第六章 门极关断 (GTO) 晶闸管

与 IGCT 112

- 第一节 门极关断 (GTO) 晶闸管的结构与工作原理 113
- 第二节 门极关断晶闸管 (GTO) 的检测与判别方法 117
- 第三节 集成门极换向晶闸管 (IGCT)

	的结构与工作原理	119
第四节	IGCT 特性参数	122
第五节	IGCT 的门极驱动 技术	125
第六节	IGCT 在多电平变换器 中的应用	128
第七章	智能功率模块与功率 集成开关电路	131
第一节	智能功率模块 IPM ...	131
第二节	功率集成电路 PIC	143
第三节	功率集成 PMW 放大器 电路	153
第八章	栅极专用驱动电路	158
第一节	IGBT 的基本驱动电路及 驱动电压	158
第二节	栅极驱动电路参数设计 基本原则	161
第三节	IGBT 栅极驱动电路的 抗干扰措施	166
第四节	专用集成栅极 驱动电路	168
第九章	常用 PWM 集成脉宽 调制控制器	193
第一节	电压型脉宽调制 控制器	194
第二节	电流型脉宽调制 控制器	201
第三节	变频控制软开关 控制器	212
第四节	电流型功率因数 控制器	217
第五节	双 PWM 脉宽调制 控制器	223
第六节	移相谐振全桥变换	

	控制器 UC1879	230
第七节	数字开关电源 控制器	236
第十章	磁性材料与磁性元件	243
第一节	软磁材料的分类 及特点	243
第二节	电感器的识别 与检试	254
第三节	变压器的识别 与检测	257
第四节	高频变压器的 参数设计	262
第五节	电感与变压器的 应用电路	268
第十一章	电容器	274
第一节	电容器的分类、型号及 其特点	274
第二节	电解电容器	278
第三节	无感电容	284
第四节	电容器的识别	286
第五节	电容器的检测	292
第六节	电容器的选择 与应用	294
第十二章	压敏保护元器件	303
第一节	压敏电阻器	303
第二节	瞬态电压抑制 二极管	313
第三节	气体放电管	317
第四节	瞬态电压尖峰的抑制 方法与应用	321
第十三章	传感器	327
第一节	霍尔电流传感器的 工作原理	327

第二节	霍尔传感器主要性能指标	329
第三节	霍尔传感器的应用	330
第四节	IGBT 的温度检测	333

第五节	普通发光二极管	336
第六节	光耦合器	342
参考文献		353

第一章 绪 论

电力电子技术 (Power electronics) 是一门以电力为研究对象的学科, 是由电气工程与技术、控制理论、电子科学与技术三大学科交叉而形成的, 这一观点已被学术界普遍接受。电力电子学的定义示意图如图 1-1 所示。

电力电子技术是以电力电子元器件为基础对电能进行控制、转换和传输, 是现代电子学的一个重要分支, 包括电力电子元器件、变流电路和控制电路三大部分, 其中以电力电子元器件的制造、应用技术为最基本的技术。因此, 了解电力电子元器件基本工作原理、结构和电气参数, 正确安全使用电力电子元器件是完成一部电力电子装置最关键的第一步。

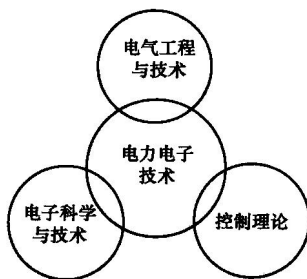


图 1-1 电力电子学的定义示意图

电力电子元器件种类繁多, 各种器件具有自身的特点并对驱动、保护和缓冲电路有一定的要求。一个完善的驱动、保护和缓冲电路是器件安全、成功使用的关键, 也是本书重点讲述的部分。

电力电子变换电路常用的半导体电力开关器件有快速功率二极管、大功率双极型晶体管 GTR、晶闸管 (Thyristor 或 SCR)、可关断晶闸管 (GTO)、功率场效应晶体管 (MOSFET)、绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 以及功率集成电路 PIC 等。在这些开关器件中, 二极管属不控型开关器件, 晶闸管属半控型开关器件, 其他均属全控型开关器件。SCR、GTO 及 GTR 属电流驱动型开关器件, 功率 MOSFET、IGBT 及 PIC 为电压驱动型开关器件。

电力电子元器件应用技术是集电子学、电力学和控制学为一体而又相对独立的一门学科, 现今已成为高科技的一个分支, 而且还是许多高科技的支撑。要掌握电力电子元器件应用技术就必须熟悉电力电子元器件的有关知识。

第一节 电力电子元器件的概念和特征

一、电力电子元器件的基本概念

在电气设备或电力系统中, 直接承担电能变换或控制任务的电路称为主电路。

在直接用于处理电能的主电路中，实现电能变换和控制的电子器件称为电力电子元器件。电力电子元器件之所以和“电力”二字相连，是因为最初它主要应用于电气工程和电力系统，其作用是根据负荷的特殊要求，对市电、强电进行各种形式的变换（主要是频率的变换），使电气设备得到最佳的电能供给，使电力系统处于最佳的运行状态，从而使电气设备和电力系统实现高效、安全、经济的运行。电力电子元器件发展到今天，不再只涉及“电力”的变换与应用，而且还涉及化学能电源（电池）、太阳能变换等领域。自 20 世纪 50 年代以来，电力半导体器件已取代了电真空器件。因此，目前的电力电子元器件指的是电力半导体器件。与普通半导体器件一样，电力半导体器件所采用的主要材料仍然是硅。

二、电力电子元器件的一般特征

电力电子元器件与处理信息的电子器件相比，电力电子元器件的一般特征如下。

1. 处理电功率的能力大

电力电子元器件处理电功率的能力，一般远大于处理信息的电子器件。电力电子元器件能够承受高电压和大电流，所以，电压和电流是电力电子元器件的两个最重要参数。

2. 工作在开关状态

电力电子元器件处理的电功率较大，所以为了减少损耗，提高效率，电力电子元器件在工作时处于开关状态。导通时阻抗很小，接近于短路，两端的压降接近于零，而电流由外电路决定；阻断时阻抗很大，接近于断路，电流几乎为零，而管子两端的电压由外电路决定。在模拟电子电路中，电器元件一般都工作在线性放大状态。虽然数字电路中电子器件也工作在开关状态，但其开关状态只用于表示不同的信息。所以，常将一个电力电子元器件或外特性像一个开关的几个电力电子元器件的组合称为电力电子开关。广义上讲，电力电子开关也指由电力电子元器件组成的在电力系统中起开关作用的电气装置。

3. 需要由信息电子电路来控制

由于电力电子元器件处理的电功率较大，因此不能直接用普通的电子电路信号来控制电力电子元器件的导通或关断，而是需要一个中间环节对普通的电子电路信号进行放大处理，从而实现弱电对强电的控制，这就是所谓的电力电子元器件驱动电路。

4. 需要安装散热器

电力电子元器件虽然工作在开关状态，但其在导通或阻断状态下，并不是处于理想的短路或开路。加在电力电子元器件上的电压和流过它的电流较大，所以，导通时器件上有一定的通态压降，形成通态损耗；阻断时器件上有微小的断态漏电流流过，形成断态损耗。在器件开通或关断的转换过程中产生开通损耗和关断损耗，

统称为开关损耗。对某些器件来讲,驱动电路向其注入的功率也是造成器件发热的原因之一。通常电力电子元器件的断态漏电流极小,因而通态损耗是器件功率损耗的主要因素。器件开关频率较高时,开关损耗会随之增大而可能成为器件功率损耗的主要因素。因此,为了使电力电子元器件不至于因损耗导致器件温度过高而损坏,不仅器件在封装时要安装散热器,而且还要考虑器件在工作时散热器的安装问题。

第二节 电力电子元器件的分类

一、按器件被控程度分类

按照器件被控制信号所控制的程度,电力电子元器件可分为以下三类。

(1) 不可控器件。这类器件一般为两端器件,一端是阳极,另一端是阴极。与信息电子电路中的二极管一样,具有单向导电性。其开关操作仅取决于其主电路中施加在阳、阴极间的电压和流过它的电流,正向电压使其导通,负向电压使其关断,流过它的电流是单方向的。不可控器件不能用控制信号来控制通断,因此也就不需要驱动电路。这类器件就是功率二极管(Power Diode),也称为电力二极管。

(2) 半控型器件。这类器件是三端器件,除阳极和阴极外,还增加了一个控制门极。半控型器件也具有单向导电性,但开通不仅需在其阳、阴极间施加正向电压,而且还必须在门极和阴极间施加正向控制电压。门极和阴极间的控制电压仅控制其开通而不能控制其关断,器件的关断是由其主电路中承受的电压和电流决定的。这类通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断的器件称为半控型器件。半控型器件是指晶闸管(Thyristor)及其大部分派生器件。

(3) 全控型器件。这类器件也是带有控制端的三端器件,其控制端不仅可控制其开通,还能控制其关断。这类通过控制信号既要控制其导通又要控制其关断的器件称为全控型器件,又称为自关断器件。这类器件很多,包括门极关断(GTO)晶闸管、功率晶体管(GTR)、功率场效应晶体管(功率MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)。目前常用的是功率MOSFET和IGBT。

二、按控制信号的性质分类

按照控制信号的性质,电力电子元器件可分为以下两类。

(1) 电流驱动型器件。驱动信号加在器件控制端和公共端之间,通过从控制端注入或抽出电流来实现器件的导通或者关断控制,这类电力电子元器件称为电流驱动型器件,或称为电流控制型器件。

(2) 电压驱动型器件。通过施加在控制端和公共端之间的电压信号实现器件的导通或者关断控制,这类电力电子元器件称为电压驱动型器件,或称为电压控制

型器件。电压驱动型器件实际上是通过加在控制端和公共端之间的电压，在器件两个主电路端子之间产生可控的电场来改变流过器件的电流大小和通断状态，所以又称为场控器件或场效应器件。

三、按参与导电的情况分类

按照器件内部电子和空穴两种载流子参与导电的情况，电力电子元器件可分为三类：① 由一种载流子参与导电的器件称为单极型器件；② 由电子和空穴两种载流子参与导电的器件称为双极型器件；③ 由单极型器件和双极型器件集成混合而成的器件称为复合型器件。

典型电力电子元器件的分类和用途见表 1-1。

表 1-1 典型电力电子元器件的分类和用途

载流子导电类型	器件名称	英文名	用途	说明
双极型器件	二极管	Diode	整流、能量回馈、续流	分为整流二极管和快速二极管
	功率晶体管	GTR	已被 IGBT 代替	—
	普通晶闸管	Thyristor, SCR	整流、逆变	高压大容量
	门极关断晶闸管	GTO	大容量逆变	已被 IGCT 替代
单极型器件	功率场效应晶体管	MOSFET	DC/DC 变换	小功率，但适合高功率密度的应用
混合型器件	绝缘栅双极晶体管	IGBT	逆变、DC/DC 变换、整流	应用十分广泛
	集成门极换向晶闸管	IGCT	大容量逆变	GTO 的进化

第三节 电力电子元器件的发展历程

电力电子元器件的发展，可分为以下四个阶段。

第一阶段是以整流管、晶闸管为代表的发展阶段。这一阶段的电力电子元器件在低频、大功率交流领域中的应用占有优势，取代了早先的汞弧整流器。1947 年美国著名的贝尔实验室发明了晶体管，功率二极管开始应用于电力领域，1956 年贝尔实验室又发明了晶闸管，1957 年美国通用电气公司开发出世界上第一只晶闸管器件，开创了传统的电力电子元器件应用技术阶段，实现了弱电对强电的控制，在工业界引起了一场技术革命。由于其优越的电气性能和控制性能，被广泛应用于

电力工业、电化学工业、铁路和钢铁工业等领域。晶闸管及晶闸管变流技术确立了电力电子元器件应用技术的概念和基础。之后，晶闸管的迅速发展使得中大功率的各种变流装置和电动机传动系统得到了快速发展。但关断这些器件的控制电路存在体积大、效率低、可靠性差、工作频率低以及电网侧和负载上谐波严重等缺点，高新技术的发展需要改进和研制全新一代的电力电子元器件和相关电路。

第二阶段是 20 世纪 70 年代后期以 GTO、GTR 和功率 MOSFET 等全控型器件为代表的发展阶段。这一阶段的电力电子元器件开关速度高于晶闸管，它们的应用使变流器的高频化得以实现。这些电力电子元器件的优越性使电力电子技术的面貌焕然一新，把电力电子元器件应用技术又推进到了一个新的发展阶段。

第三阶段是 20 世纪 80 年代后期以 IGBT 复合型器件为代表的发展阶段。IGBT 是功率 MOSFET 和 GTR 的复合。功率 MOSFET 的特点是驱动功率小、开关速度快；GTR 的特点是通态压降小、载流能力大。IGBT 的优越性能使之成为电力电子元器件应用技术的主导器件。

第四阶段是以 PIC、HVIC 等功率集成电路为代表的发展阶段。高速、全控型、大电流、集成化和多功能的电力电子元器件先后问世，开创了现代电力电子集成器件的新阶段。这一阶段，所使用的电力电子元器件是将全控型电力电子元器件与驱动电路、控制电路、传感电路、保护电路、逻辑电路等集成在一起的高度智能化 PIC，它实现了器件与电路、强电与弱电、功率流与信息流的集成，成为机和电之间的智能化接口、机电一体化的基础单元。PIC 的发展使得电力电子元器件应用技术与微电子技术的结合更加紧密，并将使电力电子元器件应用技术的第二次革命，进入全新的智能化时代，为实现变流器高频化、小型化、轻量化和节能、节材、提高效率与可靠性奠定了基础。

国内外电力电子元器件的最新研制水平见表 1-2。

表 1-2 国内外电力电子元器件的最新研制水平

器 件 名 称	国外研制水平	国内研制水平
普通晶闸管 (SCH)	12kV/1kA, 8kV/6kA	6.5kV/3.5kA
快速晶闸管	2.5kV/16kA	2kV/1.5kA
光控晶闸管	6kV/6kA, 8kV/4kA	4.5kV/2kA
GTO 晶闸管	9kV/2.5kA, 6kV/6kA (400Hz)	4.5kV/2.5kA
GTR	模块: 1.8kV/1kA (2kHz)	模块: 1.2kV/400A
功率 MOSFET	60A/200V (2MHz), 500V/50A (100MHz)	1kV/35A
IGBT	单管: 4.5kV/1kA 模块: 3.5kV/1.2kA (50kHz)	单管: 1kV/50A 模块: 1.2kV/200A
集成门极换流晶闸管 (IGCT)	单管: 6kV/1.6kA	—
MOS 控制晶闸管 (MCT)	1kV/100A ($T_d = 1\mu s$)	1kV/75A
功率集成电路	IPM: 1.8kV/1.2kA	600V/75A

第四节 电力电子元件

一个电力电子装置,主电路部分主要有有源开关器件、无源变压器、电感、电容及滤波器等组成,而这些无源元器件在该电力电子装置中,同样起着举足轻重的作用。电力电子技术的发展也促进了电容器和磁性材料的发展。随着变换器的工作频率升高,容量加大,各种不同用途、不同要求、不同规格的电容器和变压器迅速出现,其性能、价格在电力电子设备的比重越来越大。其中薄膜电容、超小型高频电容、大纹波直流电容发展最快。铁氧体磁心,非晶态磁心,纳米晶磁心等在实际中得到广泛的应用。

了解各种电感、电容元件的性能并正确使用它是设计、研制、应用电力电子设备的科技人员需要掌握的内容。因此,将此内容作为本书的一部分论述。

第五节 电力电子元器件的应用与展望

电力电子元器件的应用是电力电子技术的一部分。电力电子元器件的应用技术称为变流技术,它包括用电力电子元器件构成各种电力电子电路和对这些电路进行控制的技术,以及由这些电路构成电力电子装置和电力电子系统的技术。

1. 变流技术的分类

(1) AC/DC 变换。把交流电压变换成固定或可调的直流电压称为整流。传统的 AC/DC 变换是利用晶闸管器件和相控技术,依靠电网电压换相实现的,至今工业中应用的大多数仍是这类整流装置。相控晶闸管具有对称的阻断特性和较低的响应速度,这类整流装置的特点是控制简单、运行可靠、功率大。相控整流器存在的问题是,它所产生的低次谐波会对电网产生严重影响。

(2) DC/AC 变换。把直流电变换成频率固定或可调的交流电称为逆变。这类变换装置通常称为逆变器。按电源性质可分为电压型逆变和电流型逆变,按控制方式可分为六拍(六阶梯)方波逆变、PWM 型逆变和谐振直流环节(软开关)逆变,按换相性质可分为靠电网换相的有源逆变和由自关断器件构成的无源逆变。逆变装置主要用于机车牵引、电动车辆和其他交流电动机调速、不间断电源(UPS)和感应加热等。

(3) AC/AC 变换。把一种形式的交流电变换成频率、电压可调或固定的交流电,只对电压、电流或对电路的通断进行控制而不改变频率称为电力控制,改变频率称为变频。

(4) DC/DC 变换。把固定的直流电压(或电流)变换成可调或恒定的直流电

压（或电流），称为斩波。DC/DC 变换广泛应用于计算机电源、各类仪器仪表、直流电动机调速及金属焊接等。谐振型软开关技术是 DC/DC 变换的新发展方向，该技术可减小变换器体积、质量，提高可靠性，并有效解决开关损耗问题。

2. 电力电子元器件的应用

近年来，由于电力电子元器件的迅速发展使变流技术得到了迅猛发展，经过变流技术处理的电能在整个国民经济的耗电量中所占比例越来越大，成为其他工业技术发展的重要基础。电力电子元器件不仅应用于电力系统，也广泛应用于一般工业、交通运输、通信系统、计算机系统、新能源系统；还应用于照明、空调等家用电器中，可概括为以下几个领域。

（1）电力系统。为了控制和改善供电质量，发电厂发出的交流电必须经过电力电子装置的处理后送到用户端，没有电力电子元器件的应用，就没有电力系统的现代化。长距离、大容量直流输电是现代输送电的发展趋势，其送电端的整流阀和受电端的整流阀采用的都是电力电子元器件变流装置。

目前在国际上正在进行一场解放电力系统的革命，即实现电力市场（Deregulation）。英国已成功地实现了电力市场，我国与美国、日本、欧洲等国正在推进这一改革。电力市场的概念是将发电方与供电方相分离，发电方与供电方从垄断走向社会化。通过引入竞争，促进供电质量和服务水平地提高，降低电价。电力市场将促进分散供电系统的发展，可大幅度地减少电力输送的能耗，同时提高了电力系统的安全性，有利于能源的多样化的实施，对国家安全有利；有利于采用再生能源、环保发电技术。从技术层面来讲，电力市场的引入将出现按质论价的电能供应方式，产生对电力品质改善装置，如不间断电源（UPS）、静止无功补偿装置（SVC）、静止无功发生器（SVG）、动态电压恢复器（DVR）、电力有源滤波器（APF）、限流器、电力储能装置、微型燃气发电机（Micro Gas Turbo）等新需求；再生能源、环保发电技术等分散发电将需要交直流变流装置。电力市场将是 FACTS 技术全面应用成为现实，带动高压直流输电（HVDC）、背靠背装置（BTB）、统一潮流控制器（UPFC）等电力电子技术的应用。图 1-2 是应用 FACTS 技术的电力系统示意图。

（2）新能源利用与环境保护。电力电子器件装置还用于太阳能发电、风力发电装置与电力系统的联网，以及太阳能发电与风力发电电能的改善。

现代社会对环境造成了严重的污染，温室气体的排放引起了国际社会的关注。大量的能源消耗是温室气体排放的主要原因。发达国家的长期工业化过程是造成温室气体问题的主要原因。然而，改革开放以来，我国的能源消费量急剧上升，二氧化碳排放量也有较大增加。1995 年我国由能源活动引起的二氧化碳排放量约为 28 亿吨，在全球温室气体排放总量中，约占 12%，位居第二。按照我国目前以煤为主的能源方案，预计不久，二氧化碳排放量就可能超过美国，成为世界上第一排放量国家。

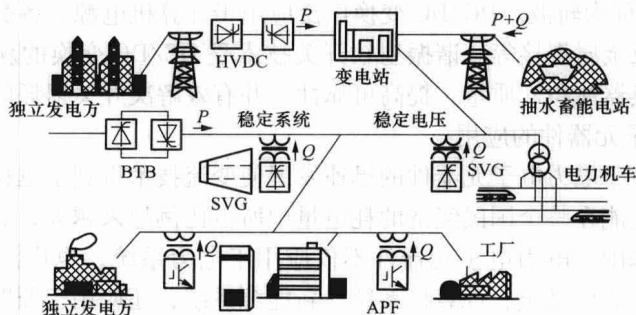


图 1-2 应用 FACTS 技术的电力系统

1997 年在日本京都召开的“联合国气候变化框架公约”会议上，通过了著名京都议定书 COP3，即温室气体排放限制议定书。通过国际社会的努力，2005 年京都议定书正式生效。2007 年在德国召开的 G8 会议上，确认在 2050 年温室气体减排 50% 的目标。2009 年在丹麦召开了气候变化峰会，进一步落实减排标准。京都议定书将对中国经济和世界经济的发展产生深远的影响。扩大再生能源应用比例和大力采用节能技术是实现京都议定书目标的十分关键和有效措施。日本、德国、澳大利亚积极推广再生能源和节能技术，减少温室气体排放。日本大力采用新能源发电技术，光伏发电装机容量将从 1999 年的 20 万 kW，至 2010 年将增加到 480 万 kW；风力发电装机容量将从 1999 年的 8 万 kW，至 2010 年将增加到 300 万 kW。燃料电池将从 1999 年 1.2 万 kW 增加到 2010 年的 220 万 kW。到 2010 年，再生能源和新能源占总能源消耗的比例将从 1999 年的 1.2% 增加到 2010 年的 3%。

我国也十分重视再生能源的开发，2006 年我国实施了《再生能源法》。2005 年我国累计风电装机容量为 120 万 kW，预计 2010 年累计风电装机容量为 500 万 kW，2020 年累计风电装机容量为 3000 万 kW。光伏、风力、燃料电池等新能源发电技术推动电力电子技术的应用，并形成电力电子技术的巨大市场。

(3) 混合动力汽车。由于电力电子元器件应用技术的迅速发展，交流电动机的调速性能可以和直流电动机相媲美。工业电动机的控制中，交流调速、直流调速以及节能和软起动都是通过电力电子元器件实现的。

根据美国国家电力科学研究院的报告，纯电动汽车与汽油汽车的一次能源利用率之比为 1:0.6。因此，发展电动汽车可以提高能源的利用率，同时减少温室气体和有害气体的排放。电动汽车的关键技术是电池技术和电力电子技术。铅酸蓄电池价格低，但能量密度低、体积大，一次充电的持续里程低，可充电次数少。目前国际上正在开展新型电池，如锂电池、镍氢电池等的研发工作。将汽油驱动和电动驱动相结合的混合动力汽车已在日本问世，如丰田公司 Prius 和本田公司 Insight 混合动力汽车。我国由长安汽车生产的混合动力汽车已下线，投入批量生产。图 1-3

所示为混合动力汽车的驱动结构。据称它可减少油耗 50%，将排放量减至汽油汽车的 1/10。日本政府采取补贴的方式支持混合动力汽车的销售。混合动力汽车的产业化前景已引起美国汽车行业的注意，美国也已制造出混合动力汽车的样车，以免失去混合动力汽车的市场。近年来，燃料电池汽车作为远景的理想环保交通工具，燃料电池的开发也成为国内外研究热点。图 1-4 所示为燃料电池电动汽车的结构。高能量密度燃料电池的低成本化、高可靠性是主要的突破目标。我国也十分重视电动汽车研究开发，预计在 2~3 年内实现电动汽车的产业化。电动汽车产业将带动如电动机驱动逆变器、能量管理双向 DC/DC 变换器、辅助电源、充电器等电力电子产品的需求。

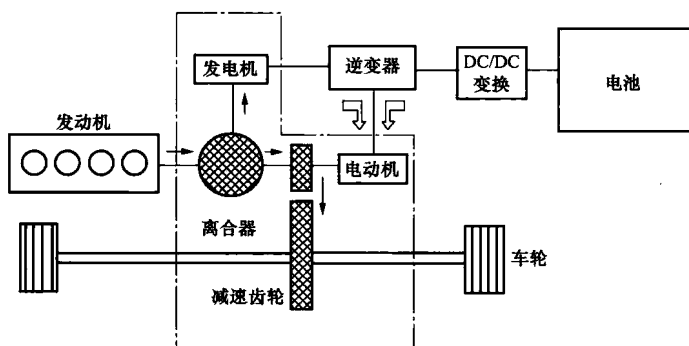


图 1-3 混合动力汽车的驱动结构

(4) 交通运输。铁道电气化、电力机车控制、磁悬浮列车的使用都离不开电力电子元器件，高级汽车中许多电机的控制是靠变频和斩波实现。电动汽车的电动机控制和蓄电池充电都是靠电力电子装置实现，飞机、船舶、电梯等都离不开电力电子装置。

(5) 电源。不间断电源、电解电源、电镀电源、开关电源、微机及仪器仪表电源、航空电源、通信电源、交流电子稳压电源、脉冲功率电源、动力牵引及传动控制（如电力机车、电传动内燃机车、矿井提升机、轧钢机传动）用电源都是靠变流技术实现的。

(6) 家用电器。用于家用照明的 LED 节能灯体积小、发光效率高、节省能量多，这是通过电力电子元器件把交流电转换成电力电子照明电源来实现的。此外，变频空调、电视机、音响、洗衣机、电冰箱、微波炉、计算机等都离不开电力电子元器件的应用。

总之，电力电子技术已经渗透到现代社会的各个方面，应用涉及航天、国防、

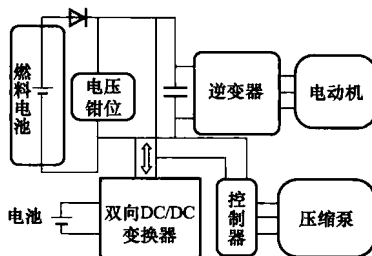


图 1-4 燃料电池电动汽车的结构