

電力電子學講義

第一回

502390-1



社團法 人 考友社 出版發行

電力電子學講義 第一回



第一講 基本概念	1
命題重點	1
重點整理	2
1.1 電力電學的概念	2
1.2 電力電子器件及其發展概況	3
1.3 電力電子電路的主要類型	4
第二講 功率二極體和閘流體	8
命題重點	8
重點整理	9
2.1 二極體特性	9
2.2 功率二極體的主要類型	11
2.3 功率二極體的主要參數	13
2.4 閘流體的結構和工作原理	16
2.5 閘流體的雙電晶體模型	19
2.6 閘流體的特性	20
2.7 閘流體的主要參數	26
2.8 其他類型閘流體	35

第一講 基本概念



- 1.1 電力電學的概念
- 1.2 電力電子器件及其發展概況
- 1.3 電力電子電路的主要類型



1.1 電力電學的概念

電力電子學是集電力、電子與控制技術為一體的一門新興學科。它應用電力、電子與控制理論，利用固態電子元件（電力半導體元件），實現大功率電能的變換與控制，以達到合理且高效率地使用能源。據報導，世界上從電力系統供給的電能，50% 要經過電力電子技術變換或控制後使用。從電動機控制、電熱控制、照明控制、電化學、電力牽引、高壓直流輸電、靜電除塵，專用電源等，到日常生活用電都已廣泛應用了電力電子技術。電能經過電力電子技術處理後再使用的比例目前正在迅速提高，有的發達國家預計西元 2000 年後將達到 95% 以上，由此可見電力電子學的理论與應用對經濟發展佔有多麼重要的地位。

電力電子學的內涵廣泛，主要有三個方面：

- (1) 電力電子元件，這是電力電子技術的形成和發展的基礎。
- (2) 電能變換技術，包括交流、直流電的相互變換、電壓變換、頻率變換等，也統稱變流技術，這是電力電子技術的主要內容。
- (3) 變流技術的應用，電能的變換是為了滿足不同電力負載的需要，改進或增加負載的功能，實現節約能源（如交流電動機調速）和節省原材料（如提高頻率可節省磁性材料和電容器容量），這是電力電子技術未來發展的動力和成長點，甚至可創造出新的電能應用領域。

實際上這三個方面是互相依存，互相促進的，不能截然分開。但就電力電子學這一門課程而言，受篇幅的限制，一般都是以變流技術為中心內容，電力電子元件主要介紹外部特性，而電力電子技術的應用則視教學要求或編著者的擅長適當舉例，本書亦然。

1.2 電力電子器件及其發展概況

從 1958 年研製出第一個工業用的普通閘流體以後，電能的變換從旋轉變流機組、離子變流器進入固態電子變流器的時代，電力電子技術作為一門新課程也公認從這時開始。閘流體在學科的發展中有奠基的作用，現在已達到 3500 A/6000 V 技術，光控型閘流體達到的技術是 2500 A/6000 V。閘流體是一種只能控制其導通而不能控制其關斷的半控型開關元件，在某些變流器中必須附加強制換向電路。普通閘流體的開關速度也較低，主要用於市電頻率（50 或 60 Hz），但至今閘流體及其衍生的元件如快速切換閘流體，雙向閘流體、反向導通閘流體、靜電感應閘流體等仍廣泛應用於各種變流器，並且還在發展。目前在介紹常用的各種變流器電路時，絕大部份仍用閘流體電路來講解。

七十年代以後，隨著半導體元件製造技術的發展和適應變流技術（如交流變頻調速）發展的需要，陸續出現了雙載子功率電晶體（BJT，又稱巨型電晶體 GTR）、閘關閘流體（GTO）、功率金氧半場效電晶體（MOSFET）等自關斷的全控型電力電子元件。BJT（GTR）一般做成達靈頓電晶體（Darlington Transistor Pack）和模塊結構（把變流器的雙臂、半橋乃至全橋組合成一個元件），現在已達到 800 A/1600 V 水平，GTO 產品的水平已達 4500 A/4500 V，已應用於大容量交流電動機變頻調速和直流電動機截波器驅動，BJT 和 GTO 的開關頻率可達 1 ~ 10 KHz；功率 MOSFET 是單載子電晶體，開關速度高（關斷時間 0.1 ~ 0.5 μ s），開關頻率可達幾百 KHz，由於超大型積體電路（VLSI）技術的發展，已開發出由上萬個單元胞（cell）並聯組成的 VDMOS 型功率場效電晶體，達到了 160 A/1200 V 水平。

八十年代以來，在 BJT 和 MOSFET 之間取長補短研製出的 MOS 雙載子複合元件得到大進展，一種是絕緣閘極雙極型功率電晶體 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor），它集中了 BJT 低飽和電壓、大電流密度的優點和 VDMOS 快速開關，且易於驅動的優點，已經形成系

列產品，投入工業應用，製造水平達到 1000 A/1200 V；另一種是 MOS 控制的閘流體 MCT (MOS Controlled Thyristor)，它有幾萬個單元胞並聯，其中有控制 PNP (閘流體結構) 導通的 on-MOSFET，還有控制 PNP 關斷的 off-MOSFET，其工作電流密度可達數 kA/cm^2 ，擊穿電壓做到 3000 V，開關時間 0.5 ~ 1 μs ，已有 300 A/2000 V 的產品，被認為是性能最好、最有發展前途的新元件。

80 年代後期，由於 VLSI 技術的發展，出現了電力電子技術與微電子技術相結合的產物 — 功率積體電路 PIC (Power Integrated Circuit)，PIC 又分成高壓積體電路 (HVIC) 和智慧型化的功率積體電路 (Smart Power IC)。例如：有的 HVIC 用作 CMOS 低壓邏輯電路和橋式功率開關電路的接口，去驅動橋路中的 IGBT 和功率 MOSFET；有的 PIC 是在 BJT、IGBT 或功率 MOSFET 晶片上，加做了具有電流、溫度感測器等功能的單元，因而增加了控制、保護、檢測及自診斷的功能。PIC 為驅動控制系統和過程控制系統提供了多功能的電力電子元件，必然會得到重視和發展。

表 1-1 列出了主要的電力電子元件的種類和發展概況。

1.3 電力電子電路的主要類型

電能的大功率變換與控制電路種類繁多，主要類型有：

(1) 可控整流器 (交流一直流轉換器)：

可控整流電路用來將電壓值固定的交流電轉換為電壓值可控的直流電。按照交流電源的相數有單相和三相的區分，按照控制功能有半控和全控的區分，半控電路的功率流向是單向的，即由交流電源傳輸給直流負載；全控電路的功率流向是雙向的，還有從負載傳輸回交流電源的逆向模式 (inversion mode)；也稱為“有源反轉換”。這種電路輸出直流電壓一般採用相位控制 (移相觸發) 進行

表 1-1 電力電子元件發展概況

元件名稱	文字符號	英文名稱	推出年代及容量	主要用途
功率二極體	D	Diode	五十年代末期： 200 A/1200 V	400 Hz 以下的 不可控整流
肖特基二極體	D_{sch}	Schottky diode	九十年代初期： 800 A/1000 V	工作頻率 100 KHz 的整流
閘流體 (矽控整流器)	Th(SCR)	Thyristor (Silicon Controlled Rectifier)	六十年代初期： 150 A/400 V (九十年代初期： 3500 A/6500 V)	400 Hz 以下的大 功率相控整流
反向導通閘流體	RCT	Reverse Conducting Thyristor	七十年代初期： 150 A/1300 V	作為中、低頻 ①開關元件用於 直流截波與 變流電路
光激矽控整流器	LASCR	Light-Activated SCR	七十年代末期： 1500 A/4000 V (九十年代初期： 2500 A/6000 V)	大功率相控 整流
功率電晶體	BJT (GTR)	Power Transistor (Giant Transistor)	六十年代末期： 250 A/140 V 九十年代初期： 800 A/1600 V	中、高頻全控 元件，用於大 功率直流截波 、變頻、變流 電路
閘關閘流體	GTO	Gate Turn off Thyristor	七十年代末期： 1000 A/2500 V (九十年代初期： 4500 A/4500 V)	同上
功率金氧半場效電晶體	MOSFET (VDMOS)	MOS Field Effect Transistor	七十年代末推出 (九十年初期： 160 A/1200 V)	同上

表 1-1 (續)

元件名稱	文字符號	英文名稱	推出年代及容量	主要用途
靜電感應閘流體	SITH	Static Induction Thyristor	八十年代中後期： 300 A/2500 V	高頻開關元件，用於直流載波、變頻、變流電路
靜電感應電晶體	SIT	Static Induction Transistor	同上	同上
絕緣閘極雙極型電晶體	IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	八十年代中期推出， (九十年代初期： 1000 A/1200 V 10 A/1800 V)	有取代 BJT (GTR) 和 MOS-FET 趨勢
MOS 控制的閘流體	MCT	MOS Controlled Thyristor	八十年代後期推出， (九十年代初期： 1000 A/1000 V 300 A/2000 V)	有取代 Th (SCR)GTO 趨勢

註：①工業上 1 KHz 以下為低頻，1 KHz ~ 10 KHz 為中頻，10 KHz 以上為高頻。

改變，這種電路中，閘流體的截止是由於下一個觸發導通的閘流體使導通的閘流體承受反向電壓關斷並將電流轉移過去，這種換流方式稱為自然換流或線換流。

(2) 交流電壓控制器（交流—交流電壓轉換器）：

交流電壓控制電路用來將電壓固定的交流電轉換為電壓有效值可變的交流電，通常是在交流電源與負載之間接入雙向閘流體（TRIAC）來實現，可以控制閘流體的通斷（on-off），也可以控制觸發相位，閘流體交流電壓控制器比常規的調壓變壓器在體積和重量上要小得多，更便於控制，只是輸出的交流電壓不是正弦波形，諧波分量較大。

(3) 直流截波器（直流一直流轉換器）

直流截波電路用來將電壓固定的直流電轉換為電壓平均值可變的直流電，這是利用接於直流電源與負載之間的開關元件通斷，使負載斷續得到直流電壓來實現。截波器（chopper）具有效率高、體積小、重量輕、成本低的優點，過去多採用閘流體和反向導通閘流體半控元件，須設置強制換向電路使它關斷，採用高頻自關斷元件可省去強制換向電路和降低對濾波元件的要求，可進一步減小體積和重量。

(4) 變流器（直流—交流變流器）

變流電路用來將電壓固定或可變的直流電轉換為電壓、頻率可變的交流電，變流電路的基本結構與整流電路相似，但電源和負載的位置正好倒置，因此也有單相半橋、橋式與三相橋式的區分，變流電路要求採用全控型開關元件，採用閘流體必須設置強制換向電路，強制換向電路也有很多種類，有時用它來區分、命名變流器。若交流電是反送回交流電源（電力系統），那屬於全控整流電路的“有源變流”狀態，可以自然換流。變流器輸出的交流電壓一般不是正弦波形，若輸入直流電壓固定不變，而輸出交流電壓的振幅與頻率按照負載要求（如交流電動機變頻調速）能一同升降，並且是正弦波形，那就要採用高頻全控型開關元件（如 GTR、GTO、MOSFET、IGBT、MCT）進行正弦式脈波寬度調變（SPWM，或簡稱 PWM）。

(5) 交流—交流轉換器（交流—交流頻率轉換器）

交流—交流轉換器指的是交流—交流變頻器，廣義上講，由市電頻率可控或不控整流器與變流器組成的“交流—直流（含 LC 濾波儲能環節）—交流頻率轉換器”也包括在內，而這裡專指將市電頻率交流電直接（中間沒有整流環節）轉換成另一頻率與振幅可變的交流電。交流—交流變頻器又稱周波轉換器（cycloconverter），因為沒有直流中間鏈結、效率較高，這種電路可採用閘流體進行自然換流，輸出交流電的頻率低於市電頻率（ $f_o < f_s$ ）。

第二講 功率二極體和閘流體



命題重點

- 2.1 二極體特性
- 2.2 功率二極體的主要類型
- 2.3 功率二極體的主要參數
- 2.4 閘流體的結構和工作原理
- 2.5 閘流體的雙電晶體模型
- 2.6 閘流體的特性
- 2.7 閘流體的主要參數
- 2.8 其他類型閘流體

 * 重點整理 *

2.1 二極體特性

功率二極體是電力電子元件中的非可控元件，外形結構有螺栓形和平板形，如圖 2.1(a)(b) 所示。螺栓形結構只有一個平面與散熱器接觸，但更換元件方便，適用於中、小容量二極體；平板形結構，兩個極都有平面與散熱器接觸，散熱條件好，適用於大、中容量二極體。

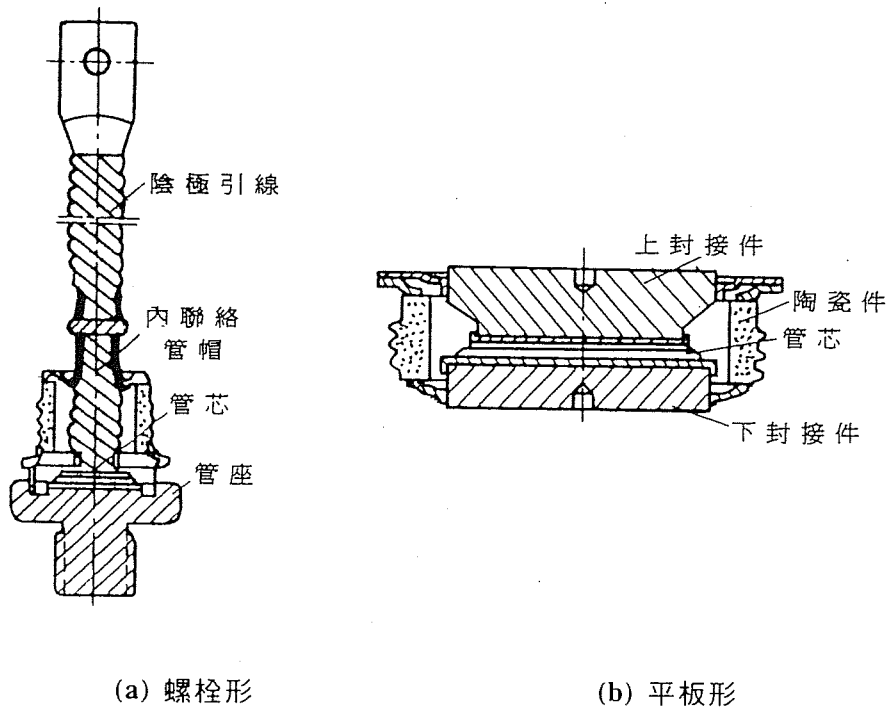


圖 2.1 功率二極體的外形結構