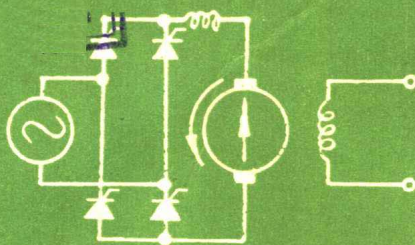
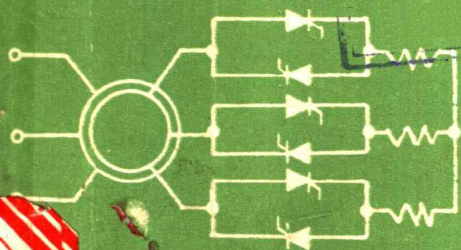
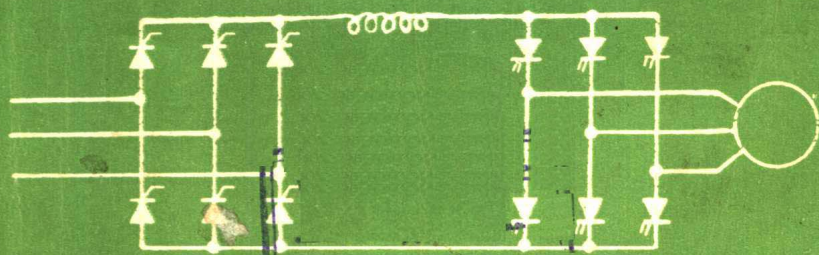


电力电子学练习

〈半导体变流技术习题及题解〉

(日) 野中作太郎等著

许振茂 译



234

成都科技大学出版社

电力电子学练习

〔半导体变流技术习题及题解〕

(日) 野中作太郎 岡田英彦 著
小山 纯 伊藤良三
许 振 茂 译
刘 竞 成 校

成都科技大学出版社

内 容 提 要

本书是日本四位大学教授合编的一本电力电子技术方面的练习书，85年在日本初版发行。本书主要介绍半导体变流技术和由变流器供电的电动机特性等方面的分析计算，也适当涉及基础理论方面的问题。全书共分七章：电力半导体元件、基础理论、整流电路、交流电力控制、逆变器电路、在电动机控制中的应用。各章开头为概要，然后是例题和习题，书末附全部习题的详细解法和答案，便于读者自我检查和对照。

本书可供工业电气自动化等电类专业的大专院校师生、电大生、夜大生、函授生、工程技术人员及自学者使用。

パワーエレクトロニクス演習

著 者 野中作太郎 岡田英彦
小山 純 伊藤良三

发行所 朝倉書店

1985年4月15日 初版第1刷

※ ※ ※

电力电子学练习

(日) 野中作太郎等著

许振茂 译

刘竟成 校

责任编辑 盛宇康

成都科技大学出版社出版、发行

成都科技大学出版社印刷厂印刷

开本 1092×787 毫米 1/32 字数 140千字

1986年6月第1版1986年6月第1次印刷

印张6.25 插页1 印数3,030

书号：15475.3 定价：1.35元

译 者 的 话

电力电子学 (Power Electronics) 是利用半导体电力元件进行电力变换和控制的技术, 或者说是以电力为对象的电子学。它是电力、电子、控制三大技术学科的边缘学科, 其最大应用领域是可调速电力拖动。

本书是日本正在编辑出版的电气、电子、电讯、信息工程练习丛书之一, 是由日本九州大学野中作太郎教授、大分大学冈田英彦教授、长崎大学小山纯教授和福岡大学伊藤良三副教授为大学生合编的一本教材。主要内容是关于半导体变流技术和由变流器供电的电动机特性等方面的分析计算, 也讨论基本概念方面的问题, 供大学生课外阅读和练习, 以加深对讲课内容的理解和提高分析问题的能力。

全书共分七章: 电力半导体元件, 基础理论, 整流电路, 斩波电路, 交流电力控制, 逆变器电路, 在电动机控制中的应用。各章开头为简短的概要, 然后是举例和习题, 书末附全部习题答案。例题和答案, 都是先讲清解法, 然后进行详细计算, 便于读者自我检查对照。书中颇有新颖内容, 例如关于用变流器供电的电动机特性, 关于滤波电抗器并联二极管后对电路波形的影响等方面的计算, 都有一定的实用性。

本书供工业电气自动化及其他电气专业的大专学生在学

习半导体变流技术课程时使用，也可供从事电力拖动、自学电力电子技术的人员参考。

本书在出版过程中，曾得到野中作太郎教授的帮助，在此表示深切感谢。

限于译者水平，错误和不妥之处在所难免，望多加批评指正。

译 者

1986年2月26日

序

1957年末,以SCR命名的晶闸管(可控硅)被开发以来,其性能有了惊人的提高,在高电压、大电流化方面取得了卓越的进步。最近,大容量控制极可关断晶闸管(GTO),电力光控晶闸管,场效应晶闸管等形形色色的电力用元件陆续上市。电力晶体管也逐年向大容量化推进。

利用这些电力半导体元件进行电力变换与控制的技术称为电力电子学。把交流电力变换为直流电力的整流器、把直流变为交流(频率与相数任意)的逆变器、可称为直流变压器的直流斩波器、交流电力控制器以及直接变频器等各种电力变换装置,由于发达的电力半导体元件和引进微处理机的高度控制技术,获得了急速的发展。

今天,已迎来了电能损耗小,而电压、电流直至频率可以自由控制的年代。

由于电力电子学的应用,电动机的控制也根据自动化、无需维修和节能的要求,在稳步地进行着技术革新。

电力电子学的内容如此丰富,涉及到多方面,但是作为讲授课程,目前尚未给予充分的授课时间。此外,单靠讲课被动地接受知识也是很难学好的。在这方面,如果自己作习题可以使理解加深,获得量的概念,增长见识。尽管目前是计算机给出问题答案的时代,但要想能判断其解答是否正确,也必需通过平常的练习掌握检查要点,培养洞察力。

根据上述观点,本书以掌握电力电子学的基础知识为重

点安排例题和习题，给出各习题的详细解答，并尽可能插图。

解析电力变换回路时，由于电力半导体元件作为开关元件而工作，回路的通断是周期性的。所以即使在定常状态，相应于回路的通断将产生过渡过程，解析此过程必须作重复周期性的考察。此外，根据负载情况存在着不同的状态模型，精确的求解是非常困难的。因此，对某些问题我们作了一些假设，例如设直流侧的滤波电感是充分大的，以使求解容易。

还有，在采用电力半导体元件的回路中，电压、电流波形一般要发生畸变，其平均值、有效值的求法，富里哀级数展开法以及基本过渡过程的解析法等，这些必要的基础理论在第2章示出，详细内容请参考有关电路的教科书。另外，在第7章（在电动机控制中的应用）如能同时阅读电力拖动基础教材，将容易理解。

本书供学习电力电子学的大学生及技术工作者自修用，如能有所帮助，将感到非常荣幸。

最后，回顾本书，在习题的编排和解答上，不妥之处想必一定很多，为了今后修订得更好，请务必不客气地提出批评和指正。

著者代表 **野中作太郎**

1985年3月

中译本序

电力电子学的应用始于铁道和炼铁。由于电力半导体元件和微机的飞跃进步，促进了控制质量的提高和装置的小型轻量化，因而从工业机器人到家用电器，广泛渗透着电力电子技术。它已在省力、节能方面作出了巨大贡献。电力电子学适合高技术时代，其发展前景无限广阔。

本书通过对电力电子学基础理论的练习，来达到掌握它的目的。即首先列举例题学习解题方法，然后给出习题，自己分析计算，再把结果同卷末的答案相对照。为了加深理解，卷末尽可能对习题的解法详加叙述。

另外，实际回路往往需要更复杂的解析，编写习题比较困难，所以关于电力电子学练习的教科书，在世界范围内也是不多见的。

本书中译本的发行，对中国读者能有所帮助是作者最大的喜悦。

译者成都科技大学副教授许振茂，作为中国政府派遣研究员，自1983年1月来日本九州大学工学部电气工学科研修两年，在我研究室勤奋从事电力电子学，特别是采用逆变器的电力拖动研究。那时，恰好我们这本书的原稿完成，给我们提出了许多宝贵意见，并计划翻译本书。归国后，当本书今年4月在日本发行时，同中国出版社联系，为中译本的出版作了许多工作，对此深表谢意。

著者代表 **野中作太郎**

1985年9月

目 录

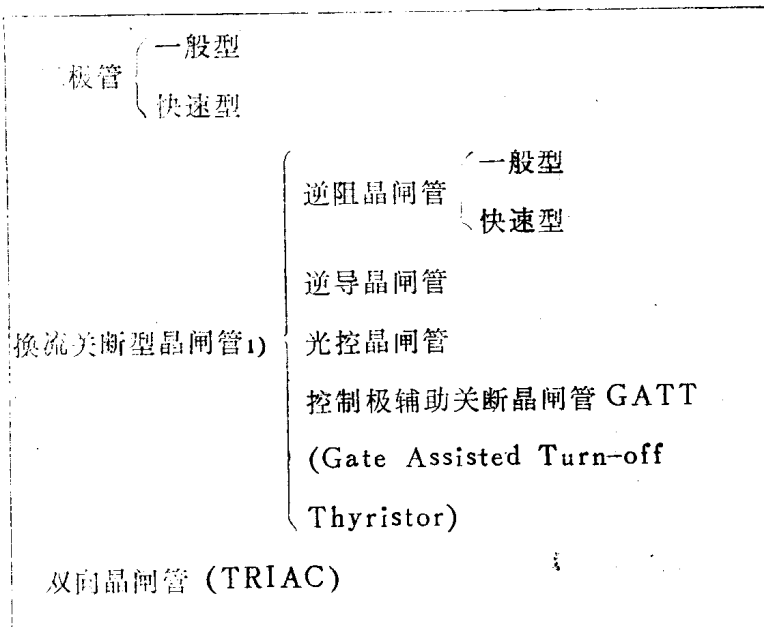
	译者的话.....	(I)
	序.....	(II)
	中译本序.....	(V)
1. ✓	电力用半导体元件.....	(1)
	习题.....	(5)
2.	基础理论.....	(11)
	习题.....	(22)
Δ 3.	整流电路.....	(26)
	习题.....	(42)
Δ 4. ✓	斩波电路.....	(49)
	习题.....	(60)
5.	交流电力控制.....	(35)
	习题.....	(73)
Δ 6. ✓	逆变器电路.....	(78)
	习题.....	(87)
7.	在电动机控制中的应用.....	(92)
	7.1 直流电动机的控制.....	(92)
	7.2 交流电动机的控制.....	(97)
	习题.....	(105)
	习题的解法与答案.....	(111)
	第 1 章.....	(111)
	第 2 章.....	(117)

第 3 章.....	(128)
第 4 章.....	(144)
第 5 章.....	(159)
第 6 章.....	(168)
第 7 章.....	(176)

1. 电力用半导体元件

在电力电子学领域内所采用的电力半导体元件，发展非常迅速。除了逆阻三端晶闸管（通常只称晶闸管或可控硅）外，许多新型的元件也实用化了。

下面列举一些典型的元件，使用时要很好地了解它们的容量、工作频率极限等特点，这是很重要的。



自关断型晶闸管 ²⁾	{	控制极可关断晶闸管 GTO (Gate
		Turn-off Thyristor)
		场效应晶闸管 (Static
		Induction Thyristor)

电力晶体管	{	单一型
		复合型

场效应晶体管 (Static Induction Transistor)

金属氧化物半导体场效应晶体管 MOSFET

(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)。

- 1) 用外部回路使元件关断。
- 2) 元件本身具有关断机能。

二极管、晶闸管等进入导通状态称为导通 (Turn on)，变为非导通状态则称为关断 (Turn off)。关断的过程叫作换流 (Commutation)。(晶闸管变流回路，多数由周期地交替通电的若干个支路构成，通常把从一个支路到下一个通电支路的电流转移称为换流——译者。)

【例题1.1】 图 1.1 中的各符号代表何种电力半导体元件？

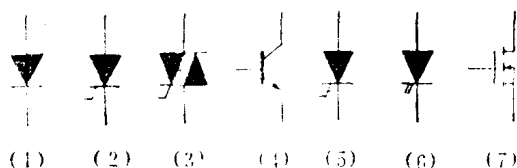


图1.1

〔解答〕 (1) 二极管；(2) 逆阻三端晶闸管(SCR)；
(3) 双向晶闸管；(4) 电力晶体管；(5) 控制极可关断晶闸管或简称 GTO；(6) 半导体开关 或 斩波装置；
(7) 电力金属氧化物半导体场效应晶体管。

【例题1.2】 (1982 年两种电工试题) 半导体整流元件通常可分为两类：一类是由多晶半导体与金属的界面存在的壁垒进行整流；另一类是由单晶半导体的 PN 结进行整流。前者所使用的半导体材料有整流器、光电池等很久以来所使用的材料〔(A)〕以及氧化亚铜、硫化铜、氧化钛等；后者使用的典型材料有〔(B)〕和电力晶闸管通常所采用的〔(C)〕。

将下列各行中的哪一行填入上文中的〔(A)〕、〔(B)〕、〔(C)〕处是正确的？

- | | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| (1) | (A) 锗 | (B) 硅 | (C) 硒 |
| (2) | (A) 硅 | (B) 硒 | (C) 锗 |
| (3) | (A) 硅 | (B) 锗 | (C) 硒 |
| (4) | (A) 硒 | (B) 硅 | (C) 锗 |
| (5) | (A) 硒 | (B) 锗 | (C) 硅 |

〔解法〕 对于 PN 结元件，电流是从 P 流向 N 的。特别是采用硅单晶的 PN 结元件，由于使用温度高、击穿电压

大、特性的温度变化小等理由，可用于高电压、大电流。

〔解答〕 (5)

【例题1.3】 参照图 1.2，说明 PNP 结构的晶闸管工作原理。

〔解答〕 首先，阳极 A 在负电压情况下， J_1 、 J_3 结被反向偏置，此时象普通整流元件一样，处于逆阻状态。其次考虑给阳极加正电压，控制极流过电流 I_G 时的情况。如图 1.2 所示，通过 J_3 空穴从 P_2 区域注入，电子从 N_2 区域注入；注入到

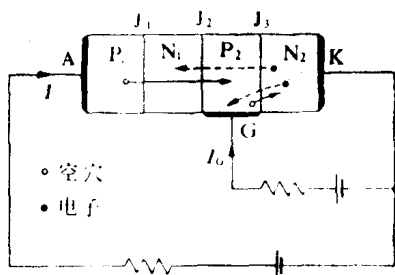


图 1.2

P_2 区域中的电子，大部分到达 J_2 ，同 N_1 、 P_1 区域的空穴再结合。这就意味着 J_2 的漏电流增大，当超过某一限制时 J_2 便失去绝缘性，电流从阳极流过，变为导通状态。

【例题1.4】 就下面关于晶闸管的叙述，写出〔 〕中的(a)、(b)。

(1) 将已导通的晶闸管的控制极电流去掉，再使阳极电流逐渐减小，在某一电流值下晶闸管将〔(a)〕。这样，使导通状态下的晶闸管继续导通的最小阳极电流，称为〔(b)〕，根据元件的不同，其数值为数 mA 到数百 mA 左右。

(2) 使阻断状态的晶闸管进入导通状态的最小阳极电流称为〔(a)〕，其值大于〔(b)〕。这是由于在晶闸管结面各区域的电流放大率是不同的，〔(a)〕受控制极附近的状态及

控制极电流等因素的影响，与此相反，〔(b)〕由结面电流放大率高的部分决定。

(3) 从阻断状态进入导通状态时，晶闸管不受到损害而能经受得了的最大通态电流上升率 di/dt 称为〔(a)〕，多为数百 $A/\mu s$ 。

(4) 在指定条件下，不能从阻断状态转入导通状态的最大断态电压上升率 dv/dt 称为〔(a)〕，通常多为数百 $V/\mu s$ 。

〔解法〕 应注意(1)、(2)、(3)、(4)分别是关于维持电流、掣住电流、通态电流临界上升率、断态电压临界上升率的叙述。特别是 di/dt 、 dv/dt ，在变流装置设计上是关键。

〔解答〕 (1) (a) 阻断， (b) 维持电流。

(2) (a) 掣住电流，(b) 维持电流。

(3) (a) 通态电流临界上升率。

(4) (a) 断态电压临界上升率。

习 题

1.1 (1979年丙种电工试题) 将适当的回答填入下面的〔 〕中。

晶闸管当控制极无电流时，与硅整流器的〔 〕特性相同，可是一流过某一大小的控制极电流便〔 〕，进入导通状态。如果要使它〔 〕，可以加〔 〕使〔 〕电流降到维持电流以下。

1.2 说明晶闸管的 $V-I$ 特性。

1.3 示出电力晶体管的复合接线图,并列举其主要特点。

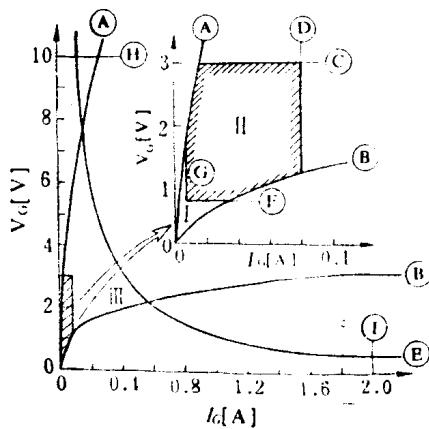


图 1.3

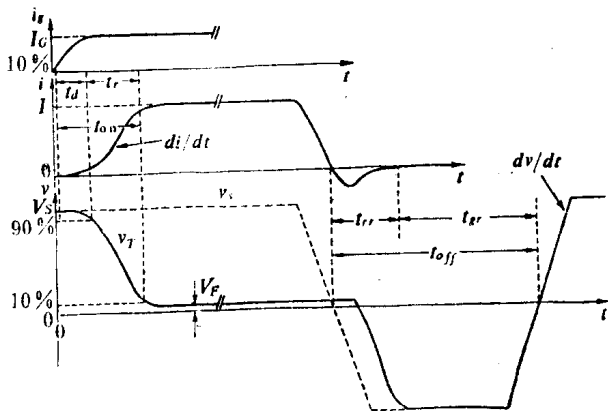


图 1.4

1.4 图1.3示出晶闸管的控制极特性。试说明曲线①~④及区域Ⅰ~Ⅳ的意义。

1.5 图1.4示出晶闸管导通、关断时的电压和电流。参考此图在下面()中填入适当的回答。

如图1.4所示,随着控制极电流的注入,()增大,()开始减少,转入导通状态,通常这需要 $2\sim 3\mu\text{s}$ 以上的()。关断时,外加电压 u_r 一减低,电流也减小,由于 v_r 反向暂时流过()电流。元件的电压由于()的影响,尽管流过反向电流,但仍保留刚才的正向压降值,随着反向电流的减少,再达到外加的反向电压。其后,再次外加正向电压时,如果反偏压时间不足,则()。因此,在能够承受再次外加电压之前,恢复需要一定的(),其值根据元件的不同为数 μs 到 $100\mu\text{s}$ 以上。对于逆变器等,要特别采用()时间短的元件。

1.6 作为晶闸管的控制极信号,可用什么样的信号?

1.7 使用电力半导体元件时,如果 di/dt 和 dv/dt 成问题,要抑制它们可采取什么办法?

1.8 在广义上来说,晶闸管是一种能从导通切换到阻断或从阻断切换到导通的双稳态元件,是具有三个结以上的半导体元件的总称。通常广泛采用的是由控制极使其导通的逆阻三端晶闸管。除此以外,还有许多种已被开发和使用,其中下面这几种用得最多。以下是关于它们的结构、动作和用途的记述,请在其中的()内填入适当的回答。

(1) 如图1.5(a)所示,逆导晶闸管左侧有()的结构,右侧有()的结构,所以当A加正电压时,同逆阻晶闸管一样由G的()使其导通;当K加正电压