

电力电子器件与 变流技术问答

陈 哲 编



東北大學出版社
Northeastern University Press

电力电子器件与变流技术问答

陈 哲 编

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 陈 哲 2009

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子器件与变流技术问答 / 陈哲编. —沈阳: 东北大学出版社, 2009.11

ISBN 978-7-81102-543-9

I. 电… II. 陈… III. ①电力系统—电子器件—问答 ②电力系统—变流技术—问答 IV. TN303-44 TM46-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 196356 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83680267 (社务室) 83687331 (市场部)

传真: 024—83680265 (办公室) 83687332 (出版部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 140mm×203mm

印 张: 5.125

字 数: 145 千字

出版时间: 2009 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2009 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 张德喜

责任校对: 力 萍

责任出版: 杨华宁

封面设计: 唐敏智

ISBN 978-7-81102-543-9

定 价: 15.00 元

前 言

变流技术是以电力为对象的电子技术，它的主要任务是利用电力电子器件对电能进行控制和变换。1956 年第一只普通晶闸管的诞生标志着半导体变流技术的开端，半个世纪以来，得到了迅猛的发展。目前，半导体变流技术已经广泛地应用于工业部门及生活领域。本书是针对电力电子器件与变流技术在实际应用中遇到的各种问题编写而成的。

我国在近 20 年来，以晶闸管为首的电力电子器件制造与应用技术发展迅速，目前已能大规模生产各种类型的晶闸管元件，单个元件容量已达电压 4000V 以上、电流 2000A 以上，派生的晶闸管元件如双向、快速、可关断、逆导等品种均有供应，其他如大功率晶体管(GTR)、功率 MOS 场效应管、绝缘门极晶体管(IGBT)等也正批量开发生产。

电力电子器件在工农业生产和民用方面的应用，按其变换功能，大致可分为以下 5 方面。

1. 可控整流

晶闸管组成的整流器可以在交流电压不变的情况下，方便地改变直流输出电压的大小，即可控整流。所以可控整流是实现交流到可变直流之间的变换。晶闸管可控整流已取代直流发电机组用作直流拖动调速装置，广泛应用于机床、轧钢、造纸、纺织、电解、电镀、光电和励磁等领域。

2. 逆变与变频

利用电力电子器件的特性,将直流变换成交流的过程称为逆变。如果把直流电变换成 50Hz 的交流电并将直流电能反馈给交流电网,这种逆变称为有源逆变,主要用于绕线式电动机串级调速与直流高压输电。把电网的交流电变换成频率与大小可调的交流电称为变频。变频电源主要用于交流电动机变频调速、中频加热熔炼、不停电电源等,这是很有发展前途的应用领域。

3. 交流调压

利用晶闸管的开关特性代替老式的接触调压器、感应调压器和电抗器调压,用晶闸管实现交流到可变交流之间的变换称为交流调压。其主要用于灯光亮度控制、温度控制以及交流电动机的调压调速等。

4. 直流斩波调压

利用电力电子器件作直流开关,控制晶闸管的通断比和通断频率,将固定的直流电压变换成可调的直流电压称为斩波调压,又称脉冲调压。其主要用于采用直流电源的车辆调速传动,如城市电车、电气机车、电瓶搬运车和铲车,以及开关直流电源等。

5. 无触点功率静态开关

晶闸管等电力电子器件作为功率开关元件,代替接触器与继电器用于操作频繁与开关频率高的场合。如轧机的辊道传动、机床频繁的正反转、高精度温度控制等,其工作频率有时高达 1500~3000 次/h,一般电磁接触器工作一星期就达到正常使用寿命而损坏。而晶闸管等电力电子器件作为无触点功率开关,具有无声、无火花、开关频率高、电磁干扰小以及寿命长等优点,使用可靠,维护方便,日益广泛地应用

在易燃易爆等特殊场合。

晶闸管等电力电子器件组成的变流装置具有以下优点：

(1)装置功率放大倍数高，与直流发电机组相比，要高3个数量级；

(2)快速响应好，为毫秒级；

(3)功耗低、效率高，节能效果显著；

(4)是静止式电子装置，体积小，重量轻，无噪声，无火花磨损，维护方便，可靠性高。

电力半导体变流技术的发展方向为：

(1)进一步提高晶闸管器件的性能，除普通晶闸管向高压大电流方向发展外，还要大力研制生产特殊的晶闸管，如双向、可关断、逆导、场控和光控晶闸管等；

(2)功率器件由单个结构向模块结构发展，即由几个功率器件芯片组成一个模块，缩小体积，减少连线，以方便使用；

(3)发展功率集成电路(PIC)，功能上含有逻辑、控制、功率、保护以及传感与测量等部分，更进一步的则含有微机控制部分；

(4)新型功率器件发展迅速。目前已出现靠电场来改变基区中空间电荷层的宽度的器件，这类器件有静电感应晶体管(SIT)和静电感应晶闸管(SITH)。另一类是靠电场来改变沟道的导电类型的器件开关，这类器件有功率 MOS 管(VD-MOS)和绝缘门极晶体管(IGBT)。这两类器件已完全进入生产实用阶段。

本书主要内容包括：电力电子器件基础、二极管与晶闸管、全控型器件、电力电子器件的驱动、半导体变流技术基础、可控整流电路、直流斩波电路、交流电力控制与交-交变频、逆变电路、交-直-交变频电路、脉宽调制(PWM)电路、

软开关与组合变流技术、电力电子器件的保护与抗干扰电路 13 个部分,共列出 228 个问题,便于读者在实际应用中查阅。

本书可供广大维修电工、电气技师和工程技术人员使用;也可供大、中专院校,技工学校有关专业的师生教学和实习参考。

本书由沈阳大学陈哲编写。在编写本书的过程中,除了得到沈阳大学信息学院领导和老师的热心帮助外,还得到了各兄弟学校相关专业同仁的大力支持。对上述同志的热情支持与帮助,编者在此表示衷心的感谢。如果本书的出版能对读者有所启迪,将是编者的莫大荣幸。由于电力电子器件与变流技术在不断地发展,新型电力电子器件和电路层出不穷,囿于编者的学识和经验,本书的缺点和不足在所难免,还望读者不吝赐教。

编 者

2009 年 5 月

目 录

第一章 电力电子器件基础	1
1. 什么是电力电子器件?	1
2. 电力电子器件如何分类?	1
3. 什么是半导体开关?	2
4. 什么是功率集成电路?	2
5. 与分立式电力半导体器件组成的驱动控制电路相比, SPIC 有哪些优点?	3
6. 简述电力电子设备用电力半导体器件的发展趋势。	4
7. 简述电力电子设备控制技术的发展历程、现状及趋势。	5
第二章 二极管与晶闸管	7
8. 电力二极管有哪些基本特性?	7
9. 常用的电力二极管有哪些主要类型?	7
10. 电力二极管有哪些主要参数?	8
11. 简述晶闸管的优缺点。	8
12. 如何区分晶闸管的三个电极?	9
13. 晶闸管导通、维持导通的条件是什么? 怎样才能使晶闸管 由导通变关断?	10
14. 温度升高时, 晶闸管的触发电流、正反向漏电流、维持电流 以及正向转折电压和反向击穿电压如何变化?	11
15. 晶闸管的非正常导通方式有哪几种?	11
16. 在实际电路中为什么要用晶闸管串联? 晶闸管串联时应采取 哪些措施?	11
17. 晶闸管串联时如何进行均压?	11

18. 在实际电路中为什么要用晶闸管并联? 晶闸管并联时应采取哪些措施?	13
19. 晶闸管并联时如何进行均流?	14
20. 晶闸管在工作中过热, 是哪些原因引起的?	15
21. 晶闸管在运行中烧坏的原因有哪些?	16
22. 某变流装置的一个晶闸管损坏, 换上同一型号的晶闸管之后, 其温升较高, 是什么原因?	17
23. 为什么晶闸管在夏天比冬天容易出故障?	17
24. 为什么晶闸管在夏天工作正常, 而到了冬天就不可靠了?	17
25. 变流装置中所用晶闸管的额定电压为什么比电路电压值大得多?	18
26. 晶闸管的额定电流和其他电气设备的额定电流有什么不同?	18
27. 怎样选取晶闸管的额定电流?	19
28. 怎样用万用表对晶闸管进行测试?	19
29. 在负载电流相同的条件下, 哪一种负载的晶闸管额定电流应选大一点? 为什么?	21
30. 简述晶闸管的静态特性。	21
31. 晶闸管的主要参数有哪些?	22
32. 简述 KP 型晶闸管型号的意义。	25
33. 什么叫晶闸管硬开通? 硬开通对晶闸管有什么影响?	25
34. 简述晶闸管的主要工作特点。	25
35. 怎样选取适于使用的晶闸管?	26
36. 双向晶闸管的型号表示什么意义?	26
37. 简述双向晶闸管的触发方式。	26
38. 什么叫固态开关?	27
39. 简述学习整流电路工作原理的基本方法。	27
第三章 全控型器件	29
40. 试述门极可关断晶闸管的结构和工作原理。	29

41. 门极可关断晶闸管的主要参数有哪些?	29
42. 何谓 GTR 的二次击穿?	30
43. 使用电力场效应晶体管时要注意哪些保护措施?	31
44. IGBT 在实际应用中要采取哪些保护措施?	31
45. 什么是静电感应晶闸管? 它有哪些特点?	32
46. 什么是 MOS 栅控晶闸管? 它有哪些特点?	32
47. 什么是集成门极换向晶闸管? 它有哪些特点?	33
48. 试说明 IGBT, GTR, GTO 和电力 MOSFET 各自的优缺点。	33
49. 怎样确定 GTR 的安全工作区 SOA?	33
50. 与 GTR 相比, 功率 MOS 管有何优缺点?	34
51. 从结构上讲, 功率 MOS 管与 VDMOS 管有何区别?	34
52. 试说明 VDMOS 的安全工作区。	35
53. 与 GTR, VDMOS 相比, IGBT 管有何特点?	35
54. 在 SCR, GTR, IGBT, GTO, MOSFET, IGCT 及 MCT 器件中, 哪些器件可以承受反向电压? 哪些可以用作静态交流开关?	35
55. 试述静电感应晶体管 SIT 的结构特点。	35
56. 试述静电感应晶闸管 SITH 的结构特点。	36
57. 试述 MOS 控制晶闸管 MCT 的特点和使用范围。	36
第四章 电力电子器件的驱动	37
58. 什么是电力电子器件的驱动电路?	37
59. 驱动电路的主要任务是什么?	37
60. 什么是电流驱动型电力电子器件?	37
61. 什么是电压驱动型电力电子器件?	37
62. 晶闸管对触发电路有哪些要求?	37
63. 常用的触发电路有哪几种?	38
64. GTR 对基极驱动电路的要求是什么?	39
65. 用单结晶体管的触发电路, 当移相到晶闸管达到某一导通角, 再继续调大导通角时, 忽然晶闸管变成全关断, 是何原因?	39
66. 简述单结晶体管的特性和主要参数。	39

67. 如何调试单结晶体管移相触发电路?	41
68. 如何调试正弦波同步触发电路?	43
69. 正弦波同步触发电路有哪些优缺点?	43
70. 怎样测定电源的相序?	44
71. 怎样确定三相同步变压器的联结组别?	45
72. 简述 GTO 门极驱动电路的结构及形式?	45
73. 电力场效应晶体管驱动电路具有哪些类型?	46
74. IGBT 的门极驱动电路是怎样的?	47
75. 什么是触发延迟角? 什么是导通角?	48
76. 什么叫移相? 什么叫同步?	48
77. 晶闸管在使用时门极常加上负电压, 有何利弊?	49
78. 在调试晶闸管整流器时, 有触发脉冲时晶闸管导通, 脉冲消失后 则关断, 是何原因?	49
79. 主回路电源电压正常, 门极加上触发脉冲后晶闸管也不导通。 试分析其原因。	49
80. 主回路加电源电压后, 不加触发脉冲晶闸管就导通, 是何原因?	50
81. 触发脉冲有哪几种输出方式? 各有什么优缺点?	51
82. 在三相半波可控整流电路中, 如果触发脉冲出现在自然换 相点之前, 会出现什么情况? 能否正常换流?	51
83. 试分析图示 GTO 门极驱动电路的工作原理。	51
84. 试分析图示功率晶体管的基极驱动电路的工作原理。	53
85. 试分析图示 IGBT 驱动电路的工作原理。	54
第五章 半导体变流技术基础	56
86. 可控整流电路有哪些型式?	56
87. 哪些地方使用可控整流电路?	56
88. 在可控整流的负载为纯电阻情况下, 电阻上的平均电流与 平均电压之乘积, 是否等于负载功率? 为什么?	56

89. 在可控整流的负载为大电感与电阻串联的情况下, 如果忽略电感的电阻, 负载电阻上的电流平均值与电压平均值的乘积是否等于负载功率? 为什么?	57
90. 充电机采用单相半波、全波或三相可控整流电路是否可以? 若输出充电电流均 15A, 各应选用多大的熔体?	58
91. 晶闸管装置中不采用过电压、过电流保护, 选用较高电压和 电流等级的晶闸管行不行?	58
92. 大电感负载对晶闸管整流有何影响? 续流二极管有何作用?	58
93. 反电动势负载对晶闸管整流有什么影响?	59
94. 电力变换可分为哪几种?	59
95. 为什么晶闸管可控整流电路不在其输出两端并接电容予以滤波?	60
96. 对半导体变流技术从业人员的基本要求有哪些?	60
97. 设计晶闸管整流电路时应注意哪些问题?	61
98. 为什么要在负载回路串联电抗器?	61
99. 带平衡电抗器的双反星形整流线路有哪些特点?	62
100. 半导体变流装置有哪些主要技术功能指标?	62
第六章 可控整流电路	66
101. 单相可控整流电路有哪些优缺点?	66
102. 可控整流电路为直流电动机供电, 为什么主回路中要串入 电抗器?	66
103. 续流二极管在全控桥整流电路和半控桥整流电路中的作用 有何不同?	66
104. 单相半波可控整流电路中, 指出下述三种情况负载两端电压 和晶闸管两端电压的波形。	67
105. 某单相全控桥式整流电路给电阻性负载和大电感负载供电, 在流 过负载电流平均值相同的情况下, 哪一种负载的晶闸管额定电流 应选择大一些?	67

-
106. 某单相可控整流电路给电阻性负载供电和给反电动势负载蓄电池充电, 在流过负载电流平均值相同的条件下, 哪一种负载的晶闸管额定电流应选大一点? 68
107. 单相桥式全控整流电路, 其整流输出电压中含有哪些次数的谐波? 其中幅值最大的是哪一次? 变压器二次侧电流中含有哪些次数的谐波? 其中主要的是哪几次? 68
108. 什么是自然续流? 68
109. 同步发电机单相半波自励电路, 在额定转速下运行, 什么原因会使励磁电压下降? 69
110. 单相半波电感负载可控整流电路与单相接续流二极管桥式半控整流电路是否相同? 69
111. 在单相桥式全控整流电路中, 若有一晶闸管断路, 结果会怎样? 如果这只晶闸管短路, 结果又会怎样? 69
112. 晶闸管整流电路为什么要用整流变压器? 三相整流变压器为什么都用 D, y 联结? 70
113. 在三相桥式全控整流电路中, 电阻负载, 如果有一个晶闸管不能导通, 此时的整流电压 u_d 波形如何? 如果有一个晶闸管被击穿而短路, 其他晶闸管受什么影响? 70
114. 在 12 脉波、24 脉波整流电路的整流输出电压和交流输入电流中各含哪些次数的谐波? 70
115. 单相桥式全控整流电路、三相桥式全控整流电路中, 当负载分别为电阻负载或电感负载时, 要求的晶闸管移相范围分别是多少? 71
116. 简述接反电动势的桥式可控整流电路的整流与待整流和逆变与待逆变工作状态。 71
117. 一般三相可控整流装置中, 如果电源三相进线相序接反, 会出现什么问题? 71
118. 试比较六相半波整流电路与双反星形整流电路的不同。平衡电抗器在电路中起什么作用? 72
119. 试述三相全控桥式整流电路的工作特点。 73

120. 三相半控桥式整流电路与三相全控桥式整流电路各有何优点? 73
121. 调试晶闸管整流装置时, 应注意哪些问题? 74
122. 为什么整流变压器的二次侧容量反比一次侧容量大许多? ... 75
123. 怎样进行整流变压器的测试? 75

第七章 直流斩波电路 77

124. 什么是斩波器? 哪些地方使用斩波器? 77
125. 斩波器怎样改变加到负载上的直流电压平均值? 77
126. 斩波器是怎样分类的? 77
127. 由全控型器件构成的降压斩波电路是如何工作的? 78
128. 由全控型器件构成的升压斩波电路是如何工作的? 79
129. 简述降压斩波电路的基本工作原理。 82
130. 简述升压斩波电路的基本工作原理。 82
131. 试比较 Buck 电路和 Boost 电路的异同。 82
132. 简述 Buck-Boost 电路同 Cuk 电路的异同。 83

第八章 交流电力控制与交-交变频 84

133. 简述常用的 AC/AC 变换技术方案及其应用范围。 84
134. 简述交-交变频电路的有环流控制的工作过程。 84
135. 试述交-交变频的特点。这种变频器适用于哪些场合? 85
136. 交-交变频电路的最高输出频率是多少? 制约输出频率提高的因素是什么? 85
137. 在三相交-交变频电路中, 采用梯形波输出控制的好处是什么? 86
138. 晶闸管相控直接变频的基本原理是什么? 为什么只能降频、降压, 而不能升频、升压? 86
139. 三相交-交变频电路有哪两种接线方式? 它们有什么区别? 86
140. 交流调压电路和交流调功电路有什么区别? 二者各运用于什么样的负载? 为什么? 87

141. 在单相交流调压电路中, 当控制角小于负载功率因数角时, 为什么输出电压不可控?	88
142. 晶闸管相控整流电路和晶闸管交流调压电路在控制上有何区别?	88
143. 简述单相交流调压电路的特点。	88
144. 在调压线路中, 什么是相位控制和通断控制? 它们各有哪些 优缺点?	89
145. 单相交流调压器谐波电流对电路有何影响? $R-L$ 负载时, 电感对谐波电流有何作用?	89
146. 三相交流调压主电路主要接法有哪些?	90
147. 电机绕组 Y 联接时的三相分支双向控制电路, 阻性负载时有 哪些特点?	90
148. 电机绕组 Y 联接时的三相分支双向控制电路, 感性负载时有 哪些特点?	90
第九章 逆变电路	91
149. 什么是逆变? 为什么要逆变?	91
150. 什么叫逆变失败? 造成逆变失败的原因有哪些?	92
151. 什么是电压型和电流型逆变电路? 各有何特点?	92
152. 什么叫逆变角?	93
153. 有源逆变最小逆变角受哪些因素限制? 为什么?	93
154. 为了防止逆变失败, 最小逆变角 $\beta_{\min}$ 应取多大?	93
155. 三相逆变电路对触发电路的要求和整流电路相比, 有什么不同?	94
156. 中频电源逆变器有哪些型式?	94
157. 串联电感式电压型逆变电路能否实现再生制动? 为什么? ...	94
158. 120° 导电型逆变器有什么导通规律?	95
159. 180° 导电型逆变器输出电压有什么规律?	95
160. 负载对无源逆变电路有哪些要求?	95
161. 换相方式有哪几种? 各自有哪些特点?	95

162. 电压型逆变电路中反馈二极管的作用是什么? 为什么电流型 逆变电路中没有反馈二极管?	96
163. 逆变电路多重化的目的是什么? 如何实现?	96
164. 串联电感式逆变电路适用于什么场合? 为什么?	96
165. 有源逆变与无源逆变的区别何在?	96
166. 简述实现有源逆变的条件。为什么半控桥和负载侧并有续流 二极管的电路不能实现有源逆变?	97
167. 为什么有源逆变工作时, 变流器直流侧会出现负的直流电压, 而电阻负载或电阻串接大电感负载则不能?	97
168. 简述电压型变换器与电流型变换器的区别。	98
169. 简述逆变技术的应用范围。	99
170. 逆变器大致可分为哪些类型?	100
171. 为什么在电流型逆变电路的可控器件上要串联二极管?	101
172. 全控型器件组成的电压型三相桥式逆变电路能否构成 120° 导电型? 为什么?	101
173. 简述逆变器的自动调频和启动问题。	102
174. 什么是直流输电? 采用直流输电有哪些优点?	103

第十章 交-直-交变频电路 105

175. 变频器是如何分类的?	105
176. 轧机用变频器的种类有哪些?	107
177. 简述变频器的基本原理与换流方式。	108
178. 通用变频器的主电路应如何接线?	109
179. 如果电动机的旋转方向反了, 应如何更正?	110
180. 变频器的安装环境应满足哪些条件?	110
181. 变频器的维修保养应遵守哪些规则?	111

第十一章 脉宽调制(PWM)电路 113

182. 试说明 PWM 控制的基本原理。	113
183. 试说明 PWM 控制的逆变电路的优点。	113

184. 什么是 SPWM 波形的规则采样法? 与自然采样法相比, 规则采样法有什么优点?	114
185. 什么是电流跟踪型 PWM 变流电路? 采用滞环比较方式的电流跟踪型变流器有何特点?	114
186. 什么是 SPWM 波形和面积等效原理?	115
187. 什么叫 SPWM 方式?	115
188. 什么是脉宽调制 PWM 型逆变电路?	115
189. 单极性和双极性 PWM 逆变器有何区别?	115
190. 调制比和载波比对 PWM 逆变器运行有何影响? 如何选择?	116
191. 简述获得 SPWM 波形的的基本方法。	116
192. 简述高速化和高载波频率的 PWM 逆变器存在的问题及主要解决方法。	118
193. 什么是异步调制和同步调制?	119
第十二章 软开关与组合变流技术	120
194. 高频化的意义是什么, 为什么提高开关频率可以减小滤波器和变压器的体积和重量?	120
195. 何谓软开关和硬开关? 怎样才能实现完全无损耗的开关过程?	120
196. 零电压开通和零电流关断的含义是什么?	120
197. 准谐振变换器与多谐振变换器的区别是什么?	121
198. 软开关 PWM 的含义是什么?	121
199. 试比较 ZCS PWM 与 ZCT PWM 这两种变换方式的优缺点。	121
200. 试比较 ZVS PWM 与 ZVT PWM 这两种变换方式的优缺点。	122
201. 零电流关断 PWM 变换器与零电流关断准谐振变换器 ZCS QRC 在电路结构上有什么区别? 特性上有哪些改进?	122