

电力电子技术问答

2 8 7 0
1 6 4 3

解析电力电子技术在实际应用中的各种问题
电气技师和工程技术人员常备书籍

高玉奎 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电力电子技术问答

高玉奎 主 编
田 库 副主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为电工、电气技师和工程技术人员的常备书籍，是针对电力电子技术在实际应用中的各种问题编写而成的。编写时，力求简单明确、通俗易懂。

本书主要内容包括：电力电子技术基础、可控整流电路、电力电子器件的驱动、逆变与变频电路、斩波器和交流调压器、家用电器实用电路、变压器的设计等七个部分，共列出 171 来个问题，本书附录还列出了 KC 系列晶闸管集成触发器、集成触发组件和常用电力电子器件技术数据等，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学习与参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术问答/高玉奎主编. —北京:中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2211-8

I. 电… II. 高… III. 电力电子学 - 问答 IV. TM1 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 051898 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>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

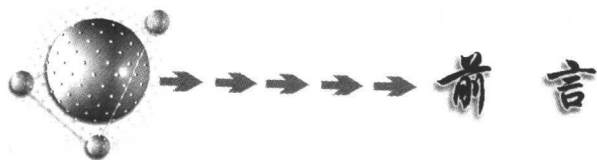
2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 8.625 印张 187 千字

印数 0001—3000 册 定价 14.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)



电力电子技术是以电力为对象的电子技术，它的主要任务是对电能进行控制和变换。1956年第一支普通晶闸管诞生之日，即为电力电子技术的开端，半个世纪以来，得到了迅猛地发展。目前，电力电子技术已经广泛地应用于工业部门及生活领域，本书针对电力电子技术在实际应用中遇到的各种问题编写而成。编写时，考虑到社会需求的广泛性和实用性，力求简单明确、通俗易懂。

本书内容包括：电力电子技术基础、可控整流电路、电力电子器件的驱动、逆变与变频电路、斩波器和交流调压器、家用电器实用电路、电子变压器的设计等七部分，共列出171个问题。书末附录还列出了KC系列晶闸管集成触发器、集成触发组件和常用电力电子器件技术数据等，供实际应用中查阅。

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。

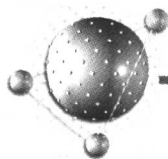
本书由高玉奎任主编，田库任副主编。高玉奎编写第二、三章，田库编写第五、七章，刘玉敏编写第四、六章，苗红宇编写第一章和附录。在此，编者对关心本书出版、热心提供资料的单位及个人表示衷心的感谢。

由于电力电子技术在不断地发展，新型电力电子器件层

出不穷，限于编者的学识和经验，本书缺点和不足在所难免，还望读者不吝赐教。

编 者

2004年6月



目 录

前言

第一章 电力电子技术基础	1
1. 什么是电力电子技术?	1
2. 电力变换包含哪些内容?	1
3. 什么是电力电子器件?	1
4. 电力电子器件如何分类?	1
5. 电力二极管有哪些基本特性?	2
6. 常用的电力二极管有哪些主要类型?	2
7. 电力二极管有哪些主要参数?	3
8. 什么是晶闸管? 它有哪些用途?	4
9. 如何区分晶闸管的三个电极?	5
10. 怎样鉴别晶闸管的好坏?	5
11. 晶闸管的型号表示什么意义?	6
12. 晶闸管是如何被触发导通的?	6
13. 晶闸管的静态特性是什么?	7
14. 晶闸管的动态特性是什么?	8
15. 晶闸管有哪些主要参数?	9
16. 变流装置中所用的晶闸管其额定电压为什么 比电路电压值大得多?	11
17. 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?	12
18. 怎样选取晶闸管的额定电流?	13

19. 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?	15
20. 为什么晶闸管在夏天比冬天容易出故障?	16
21. 为什么晶闸管在夏天工作正常, 而到了冬天 就不可靠了?	16
22. 晶闸管在使用时门极常加上负电压, 有何利弊?	16
23. 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?	17
24. 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?	17
25. 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?	17
26. 晶闸管在工作中过热, 是哪些原因引起的?	18
27. 晶闸管在运行中烧坏的原因有哪些?	19
28. 试述门极可关断晶闸管的结构和工作原理?	20
29. 门极可关断晶闸管主要参数有哪些?	21
30. 门极可关断晶闸管有怎样的动态特性?	22
31. 电力晶体管的结构和工作原理如何?	23
32. 电力晶体管的基本特性是什么?	23
33. 电力晶体管有哪些主要参数?	24
34. 何谓 GTR 的二次击穿?	26
35. 什么是 GTR 的安全工作区?	26
36. 简述电力场效应晶体管结构及工作原理。	29
37. 电力场效应晶体管有什么样的特性?	30
38. 电力场效应晶体管有哪些主要参数?	33
39. 使用电力场效应晶体管时要注意哪些保护措施?	34
40. 电力场效应晶体管具有什么样的安全工作区?	35
41. 简述绝缘栅双极晶体管结构及工作原理。	37
42. 绝缘栅双极晶体管有怎样的特性?	39
43. 绝缘栅双极晶体管主要参数有哪些?	41

44. IGBT 在实际应用中要采取哪些保护措施?	41
45. 什么是 IGBT 的擎住效应?	42
46. 什么是 IGBT 的安全工作区?	43
47. 缓冲电路有什么作用?	44
48. 除前所述, 还有哪些新型的电力电子器件?	44

第二章 可控整流电路

49. 可控整流电路有哪些型式?	49
50. 哪些地方使用可控整流电路?	49
51. 什么是触发延迟角?	49
52. 什么是导通角?	52
53. 什么叫移相?	52
54. 什么叫同步?	52
55. 单相可控整流电路有哪些优缺点?	53
56. 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?	53
57. 如何计算本书 56 题中电抗器的电感量?	53
58. 什么是自然续流?	56
59. 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?	56
60. 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?	57
61. 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?	57
62. 晶闸管串联时如何进行均压?	60
63. 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?	61
64. 晶闸管并联时如何进行均流?	62
65. 晶闸管整流电路为什么要进行过电压保护, 通 常有哪些方法?	64

66. 晶闸管整流电路过电流的原因是什么, 如何进行过电流保护? 65
67. 如何选取本书 66 题中 D 方式电流保护的快速熔断器? 65
68. 在整流电路中的交流侧设置的电流检测装置是如何进行过电流保护的, 如何整定? 67
69. 如何根据整流电路输出电压 u_L 波形和晶闸管两端电压 u_{VT} 波形分析电路的故障? 69
70. 如果用示波器测出三相全控桥电感性负载输出电压 u_L 波形 (见图 2-21), 试分析原因所在及如何解决。..... 73
71. 在本书 70 题中所述六个波头严重不对称时, 将有什么后果? 75
72. 某三相半波整流电路, 为什么会出图 2-23 所示的输出电压 u_L 波形? 75
73. 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? 76
74. 三相半控桥与三相全控桥整流电路相比有哪些特点? 76
75. 调试晶闸管整流装置时, 应注意哪些问题? 77

第三章 电力电子器件的驱动 78

76. 晶闸管对触发电路有哪些要求? 78
77. 常用的触发电路有那几种? 79
78. 如何调试单结晶体管移相触发电路? 79
79. 如何调试正弦波同步触发电路? 83
80. 正弦波同步触发电路有哪些优缺点? 83
81. 怎样测定正弦波同步触发电路的同步电压和主电路电源电压的相位关系? 84
82. 怎样测定电源的相序? 86
83. 如何调试锯齿波同步触发电路? 87
84. 锯齿波同步触发电路输出脉冲宽度不够, 应如何解决? 90

85. 锯齿波同步触发电路是怎样发出双窄触发脉冲的?	90
86. 怎样确定三相同步变压器的联结组别?	91
87. 锯齿波同步触发电路的故障, 是如何影响三相桥式全控整流 电路输出电压的?	92
88. 三相桥式全控整流电路使用同步信号为锯齿波的触发电路, 为什么六个锯齿波的斜率要一致?	93
89. 什么是电力电子器件的驱动电路?	93
90. 驱动电路的主要任务是什么?	93
91. 什么是电流驱动型电力电子器件?	95
92. 什么是电压驱动型电力电子器件?	95
93. 哪些因素影响 GTO 的导通和关断?	95
94. 简述 GTO 门极驱动电路的结构及形式?	95
95. GTR 基极驱动电路应具有哪些功能?	98
96. 基极驱动电路有哪些基本形式?	98
97. 什么是恒流驱动电路?	98
98. 什么是比例驱动电路?	100
99. 电力场效应晶体管对栅极驱动电路有哪些要求?	101
100. 电力场效应晶体管驱动电路具有哪些类型?	102
101. IGBT 门极驱动条件对其特性有什么影响?	103
102. IGBT 的门极驱动电路是怎样的?	104

第四章 逆变与变频电路

103. 什么是逆变? 怎样分类?	106
104. 要想使变流器工作在逆变状态, 应该具备什么条件?	106
105. 什么叫逆变角?	106
106. 在逆变状态时, 晶闸管工作有何特点?	106
107. 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?	108
108. 什么叫逆变失败, 造成逆变失败的原因有哪些?	108
109. 为了防止逆变失败, 最小逆变角 β_{\min} 应取多大?	109

110. 试举例说明有源逆变有哪些应用?	109
111. 在哪些地方需要使用由晶闸管组成的静止变频器?	112
112. 变频器怎样分类, 其工作原理是怎样的?	112
113. 变频器有哪些换相方式?	113
114. 中频电源逆变器有哪些型式?	115
115. 如何区分电压源型和电流源型变频器?	116
116. 单相电压源型逆变电路有几种类型?	116
117. 怎样构成三相电压源型逆变器?	117
118. 怎样构成单相电流源型逆变电路?	117
119. 怎样构成三相电流源型逆变电路?	120
120. 电压源型变频器和电流源型变频器各有什么特点?	120
121. V-MOS管逆变电源是怎样工作的?	120
122. 试说明图4-13所示小功率单相逆变器的工作原理。	125
123. 交—交变频器怎样分类, 各有什么优缺点?	125
124. 交—交变频器和交—直—交变频器各有什么特点?	126

第五章 斩波器和交流调压器

125. 什么是斩波器, 哪些地方使用斩波器?	127
126. 斩波器怎样改变加到负载上的直流电压平均值?	128
127. 斩波器怎样分类?	128
128. 由全控型器件构成的降压斩波电路是如何工作的?	129
129. 由全控型器件构成的升压斩波电路是如何工作的?	131
130. 2t 电动平板车定频调宽式调速装置是怎样工作的?	132
131. 2t 电动平板车不能起动是什么原因造成的?	135
132. 2t 电动平板车不能调速, 只能全速运行是何原因?	136
133. KDS3 系列电动铲车或平板车定宽调频式调速装置 是怎样工作的?	136
134. KDS3 系列电动铲车或平板车调速电路中的行走电 动机不能起动, 是什么原因引起的?	139
135. KDS3 系列电动铲车或平板车起动后不能调速是何	

原因?	140
136. 什么叫交流调压器, 应用在哪些地方?	140
137. 什么是晶闸管交流开关?	141
138. 交流调压器的晶闸管常用哪些方式控制?	141
139. 单相交流调压器主电路中, 对于电阻—电感负载, 为什么晶闸管的触发脉冲要用宽脉冲或脉冲列?	142
140. 在交流调压器或交流开关中, 使用双向晶闸管有什么好处?	145
141. 三相交流调压器有哪些接线方式, 各有什么特点?	145
142. 双向晶闸管的型号表示什么意义, 有哪些主要参数?	147
143. 晶闸管温度调节电路是怎样进行温度调节的?	147
144. 三相交流调压电路是怎样调压的?	148
145. KJW-1型“或”门晶闸管交流开关是怎样工作的?	148
146. 双向晶闸管交流开关电路是怎样控制电动机运行的?	150
147. 全波连续式晶闸管过零触发调功器是怎样调节输出功率的?	152
148. 8031单片机控制的晶闸管过零触发调功装置是怎样工作的?	155

第六章 家用电器实用电路 159

149. 图 6-1 所示电路是怎样进行灯光调节的?	159
150. 图 6-2 所示的应急照明灯电路如何进行工作?	160
151. 照明灯延时开关有什么作用, 它是怎样延时的?	161
152. 触电保安器有什么作用, 它是怎样进行工作的?	161
153. 图 6-5 为电视机电源过电压自动断电保护电路, 试述其工作原理。	162
154. 电扇无级调速电路如图 6-6 所示, 试述其调速过程。	163
155. 电扇怎样才能模拟自然风?	164
156. 怎样实现电冰箱的失压、过压、过电流自动保护?	165
157. 图 6-9 所示灶具点火器电路为什么能点燃可燃性	

气体?	167
158. 电子灭蝇器是怎样将苍蝇杀死的?	168
159. 用电饭锅煮饭有什么好处, 如何才能实现?	170
160. 图 6-12 为电子锁电路, 试述其工作原理。	171
161. 音乐彩灯门铃电路是怎样进行工作的?	172
162. 无干扰电风扇调速器是怎样调速的?	172
163. 无线遥控调光开关是怎样工作的?	174
164. 吊扇电子调速器是怎样定时的?	176
165. 缝纫机电动机是怎样控制转速的?	177
166. 榨汁机电动机是怎样控制转速的?	177
167. 洗衣机电动机控制电路是怎样工作的?	178
第七章 变压器的设计	181
168. 怎样设计整流变压器?	181
169. 怎样设计脉冲变压器?	203
170. 电抗器的结构如何设计?	214
171. 怎样设计高频变压器?	220
附录一 KC 系列晶闸管集成触发器	230
附录二 集成触发组件	249
附录三 常用电力电子器件技术数据	255
参考文献	264

1. 什么是电力电子技术？

答：通常所说的电子技术包括信息电子技术和电力电子技术，模拟电子技术和数字电子技术都属于前者，而后者是应用于电力领域的电子技术，即应用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。

2. 电力变换包含哪些内容？

答：电力变换通常分为四大类，即交流变直流（整流）、直流变交流（逆变）、直流变直流（直流斩波）和交流变交流。其中交流变交流可以是电压或电力的变换，叫交流电力控制，也可以是频率和相数的变换。而将进行上述电力变换的技术叫做变流技术。

3. 什么是电力电子器件？

答：在电力系统或电力设备中，主电路承担着电能的变换或控制任务，电力电子器件是直接应用于主电路中，实现电能的变换或控制的电子器件。目前，电力电子器件一般专指电力半导体器件。

4. 电力电子器件如何分类？

答：按照电力电子器件被控制信号所控制的程度，可分为以下三类：

(1) 不可控器件。指不能用控制信号来控制其导通和关断的电力电子器件，例如电力二极管。

(2) 半控型器件。通过控制信号可以控制其导通，而不能控制其关断的电力电子器件叫做半控型器件。例如晶闸管



及其大部分派生器件。

(3) 全控型器件，又叫自关断器件。指控制信号既能控制其导通，又能控制其关断的电力电子器件。常用的有：门极可关断晶闸管（GTO）、电力晶体管（GTR）、绝缘栅双极晶体管（IGBT）和电力场效应管（P-MOSFET）。

根据器件内部电子和空穴两种载流子参与导电的情况，电力电子器件又可分为：单极型器件（一种载流子参与导电）、双极型器件（两种载流子参与导电）和混合型器件（由单极型和双极型两种器件混合而成的器件）。

按照控制信号的不同，还可将电力电子器件（电力二极管除外）分为电流驱动型和电压驱动型，后者又叫场控器件或场效应器件。

5. 电力二极管有哪些基本特性？

答：(1) 静态特性。主要指其伏安特性，当它承受的正向电压大到一定值时（此值叫门槛电压），正向电流才开始明显增加，处于稳定导通状态。与正向电流对应的电力二极管两端电压为正向电压降。电力二极管承受反向电压时，只通过数值微小的反向漏电流。

(2) 动态特性。由于电力二极管的PN结存在结电容，因此，在零偏置、正向偏置和反向偏置这三种状态之间转换的时候，需要一定的时间，我们称之为过渡过程，其PN结一些区域的带电状态是随时间变化的，这就是电力二极管的动态特性。

6. 常用的电力二极管有哪些主要类型？

答：在电力电子电路中，电力二极管有广泛的应用，它可以作为整流、续流、以及电压隔离、箝位、保护等元件。在应用时，要按实际中的要求选择不同类型的电力二极管。

主要类型有：

(1) 普通二极管，又叫整流二极管。多用于开关频率不高（1kHz 以下）的整流电路中。其反向恢复时间一般大于 $5\mu\text{s}$ ，而正向电流定额和反向电压定额分别可以达到数千安和数千伏以上。

(2) 快恢复二极管，简称快速二极管。其反向恢复时间小于 $5\mu\text{s}$ ，快恢复外延二极管反向恢复时间更短，在 100ns 以下。

(3) 肖特基二极管。其优点是：反向恢复时间很短，一般为 $10\sim 40\text{ns}$ ；正向恢复过程中没有明显的电压过冲；开关损耗和正向导通损耗都比快速二极管小。其缺点是：反向漏电流大且对温度敏感；当提高反向耐压时，其正向压降也相应增加，甚至不能满足要求。

7. 电力二极管有哪些主要参数？

答：(1) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 。指电力二极管在稳定运行时，在规定的管壳温度和散热条件下，所允许通过的最大工频正弦半波电流的平均值。此时，管子正向压降的损耗引起的结温升高不会超过所允许的最高工作结温。在此提醒读者，电力二极管的额定电流是用其正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 标称的，经换算可知，此时与之对应的电流有效值是 $1.57I_{F(AV)}$ 。

(2) 正向压降 U_F 。电力二极管在规定的温度下，流过一定的稳态正向电流时对应的正向压降。

(3) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。指对电力二极管能重复施加、而不被反向击穿的反向最高峰值电压。一般是其雪崩击穿电压 U_B 的 $2/3$ 。

(4) 最高工作结温 T_{JM} 。结温指 PN 结的平均温度。最高工作结温指在 PN 结不致损坏的条件下，所能承受的最高



平均温度，通常为 $125^{\circ} \sim 175^{\circ}$ 。

(5) 浪涌电流 I_{TSM} 。指电力二极管能承受的连续一个或几个工频周期的最大电流。

8. 什么是晶闸管？它有哪些用途？

答：晶闸管是硅晶体闸流管的简称，它包括普通晶闸管和双向、可关断、逆导、快速等晶闸管。普通型晶闸管 (Thyristor) 曾称为可控硅整流器，常用 SCR (Silicon Controlled Rectifier) 表示。在实际应用中，如果没有特殊说明，皆指普通晶闸管而言。

晶闸管主要用来组成整流、逆变、斩波、交流调压、变频等变流装置和交流开关以及家用电器实用电路等，由于上述装置，特别是变流装置是静止型的，具有体积小、寿命长、效率高、控制性能好，并且无毒、无噪声、造价低、维修方便等优点，因此在各个工业部门和民用领域都得到广泛的应用。

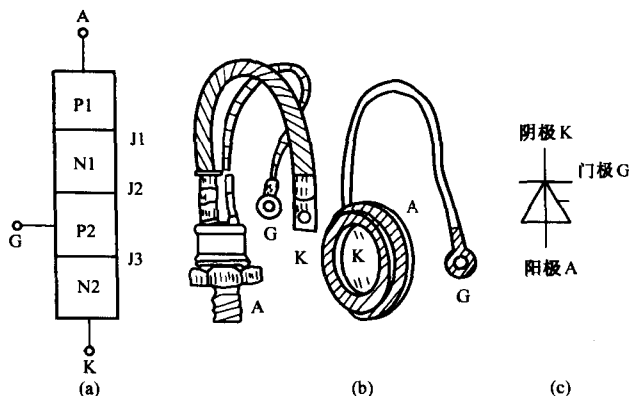


图 1-1 晶闸管的结构、外形和图形符号

(a) 结构；(b) 外形；(c) 图形符号