

KAIGUAN DIANYUAN SHIYONG JISHU 600WEN

开关电源 实用技术

600问

沙占友 沙江 王彦朋
马洪涛 睢丙东 等 著

⏻ 基础知识

⏻ 实用技术

⏻ 新技术应用



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

KAIGUAN DIANYUAN SHIYONG JISHU 600WEN

开关电源 实用技术

600问

沙占友 沙江 王彦朋
马洪涛 睢丙东 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以问答的形式,全方位、多角度、深入系统地阐述了设计与制作开关电源经常遇到的600个实用技术问题,并给出翔实的解决方法与实例。全书共九章,内容主要包括开关电源基础知识与基本原理(共127问);开关电源单元电路及关键元器件、高频变压器和开关电源整机电路的设计与制作(共242问);LED驱动电源、散热器和保护电路的设计与制作以及开关电源测试技术(共231问)。本书第一、二章为基础知识问答篇,第三~六章为实用技术问答篇,第七~九章为新技术应用问答篇;对重点问题、难点问题、普遍性问题和特殊性问题分门别类地做出解答和释疑,可兼顾专业技术人员和业余爱好者的需要。

本书融科学性、实用性于一体,题材新颖,内容精炼,通俗易懂,科学严谨,是一本开关电源应用指南,适合从事开关电源行业的工程技术人员和业余爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源实用技术 600 问/沙占友等著. —北京:中国电力出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-5123-9620-3

I. ①开… II. ①沙… III. ①开关电源—问题解答
IV. ①TN86-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 182290 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 19.5 印张 537 千字

印数 0001—2000 册 定价 49.00 元

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

设计和制作具有高性价比、高可靠性的开关电源，所涉及的知识面很宽。不仅要掌握开关电源芯片的工作原理与应用电路，了解有关通用及特种半导体器件、模拟电路与数字电路、电磁学、电力电子学、热学、光学（例如用 LED 驱动电源实现调光）、电磁兼容性、安全规范等方面的知识，还需要不断积累实践经验。许多从事开关电源行业的工程技术人员和业余爱好者，在设计和制作开关电源的过程中往往会遇到一些技术问题，这些问题所涉及的范围很广，既有带普遍性的问题，又有特殊难题。由于从专业技术书中查找既费时费力，又难以迅速找到满意的答案，为便于读者查询和借鉴，作者曾撰写《开关电源实用技术 500 问》，该书于 2012 年 2 月出版后又经过重印，受到广大读者的欢迎。近年来，本书第一作者应工业和信息化部中国电子技术标准化研究所、中国电子企业协会等单位的邀请，先后在北京、上海、苏州、杭州、温州、深圳等地举办的高级研修班讲授了 15 期“开关电源优化设计”“LED 驱动电源优化设计”等课程。作者的英文版专著 *Optimal Design of Switching Power Supply*，2015 年 6 月已由美国 Wiley 国际出版公司出版，并向全世界发行。为适应新形势、新技术的发展需要，现对原书做了较大幅度的修改，补充了作者多年的教学、科研经验及新获得的发明专利技术后撰成此书，以飨广大的新、老读者。

本书与《开关电源实用技术 500 问》相比，主要有以下特点：

第一，新增加了 100 个问答，内容涵盖开关电源设计、应用、制作和测试过程中的技术难点与重点。

第二，对原书的部分内容做了修改与补充。

第三，本书仍遵循先易后难、化整为零、突出重点和难点的原则，按照“基础知识→基本原理→单元电路设计→高频变压器设计与制作→整机电路设计与制作→散热器及保护电路的设计→测试技术”的顺序，通过答疑解惑，帮助读者快速、全面、系统地掌握开关电源设计与制作的方法、要点及注意事项。

第四，本书深入浅出，通俗易懂，图文并茂，实用性强。对重点问题、难点问题、普遍性问题和特殊性问题分门别类地做出了解答和释疑，便于读者随时查询，灵活运用，可兼顾专业技术人员和业余爱好者的需要。

沙占友教授撰写了第一～三章和第六章，并完成了全书的审阅和统稿工作。沙江撰写了第四、五章。河北科技大学王彦朋教授、马洪涛副教授和睢丙东教授合撰了第七～九章。

李学芝、韩振廷、沙莎、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、李新华同志也参加了本书撰写工作。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作者

目 录

前言

第一章	开关电源基础知识 67 问	(1)
第一节	开关电源分类特点问题解答	(1)
1	什么是电源?	(1)
2	什么是开关电源?	(1)
3	稳压电源与恒流电源有何区别?	(1)
4	稳压电源如何分类?	(2)
5	线性电源主要有哪些特点?	(2)
6	开关电源主要有哪些特点?	(3)
7	开关电源与线性电源相比有哪些优势?	(3)
8	开关功率器件与线性功率器件各有什么特点?	(4)
9	开关电源有哪些基本类型?	(5)
10	开关电源芯片可划分成几种类型?	(5)
11	开关电源有几种调制方式?	(5)
12	什么是 DC/DC 变换器?	(6)
13	什么是开关稳压器?	(6)
14	什么是 AC/DC 变换器?	(6)
15	什么是隔离式(离线式)开关电源?	(6)
16	隔离式开关电源主要由几部分构成?	(7)
17	什么是复合式稳压电源?	(7)
18	什么是数字电源?	(7)
19	数字电源与模拟电源相比哪个性能更好?	(8)
20	什么是 LED 驱动电源?	(9)
21	LED 驱动电源与 LED 驱动器有何区别?	(10)
22	什么是基准电压源?	(10)

23	什么是带隙基准电压源?	(10)
24	误差放大器有何作用?	(12)
25	对误差放大器的基本要求是什么?	(13)
26	什么是分布式电源?	(14)
27	什么是分布式数字电源系统?	(14)
28	什么是特种电源?	(15)
29	什么是 UPS 电源?	(15)
第二节 开关电源常用术语及参数问题解答		(15)
30	什么是电压调整率?	(15)
31	什么是负载调整率?	(16)
32	什么是输出电压精度?	(16)
33	什么是额定输出功率?	(17)
34	什么是功率损耗?	(17)
35	什么是电源效率?	(18)
36	什么是空载功耗?	(18)
37	什么是待机功耗?	(18)
38	什么是待机电流?	(18)
39	什么是电源的能效?	(18)
第三节 功率因数校正 (PFC) 问题解答		(19)
40	什么是功率因数?	(19)
41	什么是功率因数校正?	(20)
42	什么是无源功率因数校正?	(20)
43	什么是有源功率因数校正?	(21)
44	能否给出无源功率因数校正与有源功率因数校正的对比 实例?	(21)
45	什么是总谐波失真?	(23)
46	什么是占空比?	(23)
第四节 开关电源保护功能问题解答		(23)
47	什么是过热保护?	(23)
48	什么是散热器?	(24)
49	什么是过电压保护?	(24)

50	什么是欠电压保护?	(24)
51	什么是过电流保护?	(24)
52	什么是过功率保护?	(24)
53	什么是电池极性反接保护?	(24)
54	什么是软启动功能?	(25)
55	什么是缓启动功能?	(25)
第五节 开关电源噪声与干扰问题解答		(25)
56	什么是瞬态响应?	(25)
57	输出纹波电压与输出噪声电压有何区别?	(26)
58	什么是纹波系数?	(26)
59	什么是电源抑制比?	(27)
60	什么是输出噪声电压?	(27)
61	什么是电磁干扰?	(27)
62	电磁干扰可带来哪些危害?	(27)
63	什么是电磁兼容性?	(28)
64	电磁兼容性主要研究哪些领域?	(29)
65	电磁兼容性主要有哪一些标准?	(30)
第六节 静电放电问题解答		(30)
66	什么是静电放电?	(30)
67	什么是人体静电放电模型?	(31)

第二章 开关电源基本原理 60 问..... (33)

第一节 开关电源基本原理问题解答 (33)

68	脉宽调制式开关电源的基本原理是什么?	(33)
69	什么是单片开关电源?	(35)
70	单片开关电源的基本原理是什么?	(35)

第二节 开关电源控制类型问题解答 (36)

71	单片开关电源的反馈电路有哪 4 种类型?	(36)
72	开关电源有哪两种控制类型?	(38)
73	电压控制型开关电源的基本原理是什么?	(38)
74	电压控制型开关电源有哪些优点?	(39)

75	电压控制型开关电源有哪些缺点?	(39)
76	电流控制型开关电源的基本原理是什么?	(40)
77	电流控制型开关电源有哪些优点?	(41)
78	电流控制型开关电源有哪些缺点?	(41)
第三节 开关电源工作模式问题解答		(42)
79	开关电源有哪两种工作模式?	(42)
80	连续模式和不连续模式各有什么特点?	(42)
81	如何设定连续模式和不连续模式?	(42)
82	同一开关电源工作在连续模式、不连续模式时哪种一次 侧的损耗较大?	(43)
83	单片机在开关电源中主要有哪些应用?	(44)
第四节 开关电源负载特性问题解答		(44)
84	什么是开关电源的负载特性?	(44)
85	开关电源常见的负载有哪几类?	(44)
86	瞬变负载有哪些特点?	(44)
87	如何改善开关电源的瞬态响应?	(45)
第五节 开关电源常用变换器基本原理问题解答		(45)
88	什么是拓扑结构?	(45)
89	DC/DC 变换器主要有哪些拓扑结构?	(46)
90	降压式变换器的基本原理是什么?	(47)
91	降压式变换器有哪些特点?	(47)
92	升压式变换器的基本原理是什么?	(47)
93	升压式变换器有哪些特点?	(48)
94	降压/升压式变换器的基本原理是什么?	(48)
95	降压/升压式变换器有哪些特点?	(49)
96	SEPIC 变换器的基本原理是什么?	(49)
97	SEPIC 变换器有哪些特点?	(50)
98	电荷泵式变换器的基本原理是什么?	(51)
99	电荷泵式变换器有哪些特点?	(52)
100	多拓扑结构的变换器有哪些特点?	(52)
101	反激式变换器的基本原理是什么?	(52)

102	反激式变换器有哪些特点?	(53)
103	正激式变换器的基本原理是什么?	(54)
104	正激式变换器有哪些特点?	(54)
105	推挽式变换器的基本原理是什么?	(55)
106	推挽式变换器有哪些特点?	(55)
107	半桥式变换器的基本原理是什么?	(56)
108	半桥式变换器有哪些特点?	(56)
109	全桥式变换器的基本原理是什么?	(57)
110	全桥式变换器有哪些特点?	(57)
111	什么是半桥 LLC 谐振式变换器?	(57)
112	为什么半桥 LLC 谐振式变换器的电源效率特别高?	(58)
113	半桥 LLC 谐振式变换器的基本原理是什么?	(58)
114	半桥 LLC 谐振式变换器有何特点?	(59)
115	什么是双开关正激式变换器?	(61)
116	能否对 12 种常用 DC/DC 变换器的电路结构及工作波形 做一比较?	(61)
第六节 无源填谷电路问题解答		(65)
117	什么是填谷电路?	(65)
118	二阶无源填谷电路的原理是什么?	(65)
119	如何选择填谷电容的容量?	(66)
120	二阶无源填谷电路提高功率因数的效果如何?	(67)
121	三阶无源填谷电路的结构原理是什么?	(68)
122	设计无源填谷电路需注意哪些事项?	(69)
第七节 有源功率因数校正(PFC)问题解答		(69)
123	有源 PFC 为何要采用升压式变换器?	(69)
124	有源 PFC 的基本原理是什么?	(70)
125	设计 PFC 升压式变换器需注意哪些事项?	(72)
126	什么是单级、两级式和三级式 PFC 电源?	(73)
127	连续导通模式和临界导通模式的 PFC 各有何 特点?	(74)

第三章 开关电源单元电路及关键元器件 126 问 (75)

第一节 开关电源基本结构问题解答 (75)

128 开关电源的基本结构是怎样的? (75)

129 单片开关电源由哪些部分构成? (76)

第二节 交流输入保护电路问题解答 (76)

130 交流输入保护电路有哪些基本类型? (76)

131 试对开关电源常用输入保护元件的主要性能做一比较? (77)

132 怎样选择熔丝管? (78)

133 选择熔丝管有哪些注意事项? (79)

134 怎样选择熔断电阻器? (80)

135 怎样选择自恢复熔丝管? (80)

136 自恢复熔丝管有哪些典型应用? (82)

137 怎样选择负温度系数热敏电阻器? (83)

138 怎样选择压敏电阻器? (85)

第三节 气体放电管问题解答 (85)

139 气体放电管的主要特点是什么? (85)

140 气体放电管有几种类型? (86)

141 试比较几种过电压保护器件的优缺点? (89)

142 选择气体放电管的原则是什么? (90)

143 如何使用气体放电管? (91)

第四节 EMI 滤波器问题解答 (92)

144 什么是 EMI 滤波器? (92)

145 串模干扰和共模干扰有何区别? (92)

146 EMI 滤波器的结构分几种类型? (93)

147 EMI 滤波器的基本原理是什么? (93)

148 EMI 滤波器主要有哪一些参数? (93)

149 什么是 EMI 滤波器的插入损耗? (94)

150 EMI 滤波器的额定电流与环境温度有什么关系? (95)

151 怎样计算 EMI 滤波器的对地漏电流? (95)

152 什么是共模扼流圈? (95)

153	如何选择共模扼流圈的电感量?	(97)
154	如何测量共模扼流圈的共模电感量和串模电感量?	(98)
155	什么是串模扼流圈?	(98)
156	什么是 X 电容和 Y 电容?	(99)
157	选取 X 电容的原则是什么?	(100)
158	选取 Y 电容的原则是什么?	(101)
159	对 Y 电容的漏电流有何具体要求?	(101)
160	EMI 滤波器的常用电路结构有哪些?	(103)
第五节 输入整流电路问题解答		(104)
161	如何选择输入整流管?	(104)
162	常用整流桥有哪些规格?	(106)
163	如何选择整流桥?	(106)
164	什么是整流桥的导通时间及导通特性?	(108)
165	为什么有的整流桥中会使用快恢复二极管?	(109)
第六节 输入滤波电容器问题解答		(109)
166	怎样选择输入滤波电容器的容量?	(109)
167	如何计算输入滤波电容器的容量?	(109)
168	为什么输入滤波电容器具有提升直流电压的作用? ...	(110)
169	倍压整流电路的工作原理是什么?	(110)
170	交流 110V/220V 转换电路的工作原理是什么?	(112)
第七节 升压式 PFC 电感及二极管问题解答		(113)
171	怎样计算 PFC 电感?	(113)
172	怎样选择升压式 PFC 二极管?	(113)
173	为什么说 Qspeed 二极管具有“软性”反向恢复 波形?	(115)
174	Qspeed 二极管主要有哪些参数?	(116)
第八节 漏极钳位保护电路问题解答		(116)
175	为什么反激式开关电源需要增加漏极钳位保护 电路?	(116)
176	反激式开关电源的漏极电位是如何分布的?	(116)
177	漏极钳位保护电路有哪几种类型?	(118)

178	什么情况下不需要漏极钳位保护电路?	(119)
179	什么管子适合做阻塞二极管?	(119)
180	阻尼电阻有什么作用?	(119)
181	为什么玻璃钝化整流管也可用作阻塞二极管?	(120)
182	怎样选择钳位二极管和阻塞二极管?	(120)
183	怎样设计漏极钳位保护电路?	(120)
第九节 瞬态电压抑制器问题解答		(122)
184	瞬态电压抑制器的主要特点是什么?	(122)
185	常用瞬态电压抑制器有哪些性能指标?	(124)
186	瞬态电压抑制器有几种类型?	(125)
187	如何选择瞬态电压抑制器?	(126)
第十节 功率开关管问题解答		(127)
188	如何选择双极性功率开关管?	(127)
189	功率 MOSFET 比双极性功率开关管有哪些优点?	(129)
190	如何选择功率 MOSFET?	(130)
191	如何选择 IGBT 功率开关管?	(131)
192	使用 IGBT 功率开关管有哪些注意事项?	(134)
第十一节 输出整流管问题解答		(136)
193	开关电源的输出整流管可采用哪几种管子?	(136)
194	什么是反向恢复时间?	(136)
195	快恢复二极管和超快恢复二极管有什么区别?	(137)
196	单管、对管有何区别?	(137)
197	快恢复二极管和超快恢复二极管典型产品的主要参数 是什么?	(138)
198	试给出超快恢复二极管的典型应用电路。	(138)
199	UF4000 系列与 1N4000 系列有何本质区别?	(139)
200	肖特基二极管的工作原理是什么?	(139)
201	肖特基二极管有何特点?	(140)
202	如何选择肖特基二极管?	(140)
203	试给出肖特基二极管的典型应用电路。	(141)
204	试对几种整流管的性能加以比较。	(141)

205	怎样选择开关电源中的续流二极管?	(142)
第十二节 输出滤波电容器问题解答		(143)
206	输出滤波电容器的等效电路有何特点?	(143)
207	输出滤波电容器的阻抗特性有何特点?	(143)
208	怎样计算输出滤波电容器容量的最小值?	(144)
209	为什么采用低等效串联电阻的电容器能大幅度降低输出纹波电压?	(144)
210	选择输出滤波电容器时有哪些注意事项?	(145)
211	铝电解电容器的颜色及其含义代表什么?	(147)
第十三节 固态电容器和超级电容器问题解答		(148)
212	什么是固态电容器?	(148)
213	固态电容器与铝电解电容器相比有何优势?	(148)
214	什么是超级电容器?	(150)
215	超级电容器主要有哪一些参数?	(151)
第十四节 磁珠问题解答		(152)
216	什么是磁珠?	(152)
217	磁珠具有什么特点?	(152)
218	磁珠分哪几种类型?	(153)
219	磁珠的阻抗特性有何特点?	(155)
220	在开关电源中如何使用磁珠?	(156)
第十五节 光耦反馈电路问题解答		(157)
221	什么是光耦合器?	(157)
222	光耦合器有哪几种类型?	(157)
223	什么是电流传输比?	(157)
224	开关电源中为何要选择线性光耦合器?	(158)
225	线性光耦合器有哪些典型产品?	(159)
226	选择光耦合器的原则是什么?	(159)
227	普通光耦反馈电路是如何构成的?	(160)
228	如何选择普通光耦反馈电路中的稳压管?	(161)
229	精密光耦反馈电路是如何构成的?	(161)
第十六节 控制环路问题解答		(163)

230	什么是波特图?	(163)
231	用什么软件可获得波特图?	(164)
232	什么是交越频率?	(164)
233	什么是增益裕量?	(164)
234	什么是相位裕量?	(164)
235	对控制环路的基本要求是什么?	(165)
236	衡量反激式开关电源稳定性的指标是什么?	(165)
237	光耦反馈控制环路的基本结构是什么?	(165)
238	如何设置光耦反馈环路的性能参数?	(166)
239	试举例说明如何选择输出滤波电容器?	(167)
240	如何选择控制端的旁路电容和旁路电阻?	(168)
241	如何选择可调式基准电压源?	(168)
242	如何选择取样电阻?	(168)
243	如何选择补偿电容?	(169)
244	如何选择增益调整电阻?	(169)
245	如何选择提升相位裕量的 RC 型网络?	(170)
246	试给出提升相位裕量的设计实例。	(171)
247	为什么要对芯片内部的控制环路进行补偿?	(173)
248	如何对芯片内部的控制环路进行补偿?	(173)
249	如何设计偏置电路?	(174)
第十七节 可调式精密并联稳压器问题解答		(175)
250	可调式精密并联稳压器的工作原理是什么?	(175)
251	如何选择低压输出可调式精密并联稳压器?	(177)
252	如何应用低压输出可调式精密并联稳压器?	(180)
253	如何设计输出可从 0V 起调的精密低压差线性稳压器?	(181)

第四章 高频变压器设计与制作 50 问

第一节 选择磁心问题解答		(186)
254	高频变压器在开关电源中起什么作用?	(186)
255	磁性材料是如何分类的?	(186)

256	常用 EI 型磁心有哪些规格?	(187)
257	常用 EE 型磁心有哪些规格?	(188)
258	常用 RM 型铁氧体磁心有哪些规格?	(189)
259	什么是超微晶磁心?	(190)
260	超微晶磁心与铁氧体磁心相比有何优点?	(191)
261	磁心截面积与有效截面积有何区别?	(192)
262	如何用经验公式来选择磁心?	(192)
263	如何根据输出功率来选择磁心?	(192)
264	什么是窗口面积?	(194)
第二节 高频变压器电路中波形参数问题解答		(194)
265	高频变压器电路中的波形参数是什么?	(194)
266	什么是波形系数 (K_f)?	(194)
267	什么是波形因数 (k_f)?	(194)
268	开关电源中 6 种常见波形的参数是什么?	(195)
269	如何确定一次侧电流的波形因数?	(195)
270	什么是损耗分配系数 (Z)?	(198)
271	什么是电流密度 (J)?	(198)
272	什么是窗口利用系数 (K_w)?	(198)
273	什么是磁滞回线?	(199)
第三节 用 AP 法选择磁心问题解答		(200)
274	什么是 AP 法?	(200)
275	AP 法的基本公式是什么?	(200)
276	AP 法选择磁心的实用公式是什么?	(201)
277	单端正激式高频变压器的 AP 法计算公式是什么?	(201)
278	采用 AP 法选择磁心时需注意哪些事项?	(201)
279	试给出用 AP 法选择磁心的设计实例。	(202)
第四节 设计反激式高频变压器问题解答		(203)
280	试给出反激式高频变压器的设计实例。	(203)
281	推荐用哪个公式计算一次侧电感量较好?	(205)
282	设计反激式与正激式高频变压器有何区别?	(206)
第五节 设计正激式高频变压器问题解答		(206)

283	设计正激式开关电源有何注意事项?	(206)
284	设计正激式高频变压器的步骤是什么?	(207)
285	常用的三种磁复位电路各有什么特点?	(208)
第六节	绕线问题解答	(209)
286	如何选择漆包线?	(209)
287	什么是三层绝缘线?	(210)
288	为什么采用三层绝缘线能大大减小高频变压器的 体积?	(211)
289	如何选择三层绝缘线?	(212)
290	使用三层绝缘线有何注意事项?	(213)
291	绕线时需注意什么问题?	(213)
292	什么是“三明治绕法”?	(215)
293	绕组如何走线?	(215)
294	分离式绕法与堆叠式绕法各有什么优缺点?	(216)
295	如何绕制屏蔽绕组?	(217)
296	怎样设计磁屏蔽?	(218)
第七节	高频变压器损耗问题解答	(218)
297	高频变压器的损耗是如何造成的?	(218)
298	什么是集肤效应?	(219)
299	什么是临近效应?	(220)
第八节	高频变压器磁饱和问题解答	(221)
300	为什么高频变压器磁心应留有气隙?	(221)
301	高频变压器为什么会发生磁饱和?	(221)
302	磁饱和有哪些危害?	(222)
303	如何防止高频变压器磁饱和?	(222)
第五章	开关电源整机电路设计与制作 66 问	(223)
第一节	开关电源设计要点问题解答	(223)
304	设计开关电源主要包括什么内容?	(223)
305	开关电源有哪些性能指标?	(224)
306	开关电源的功率损耗包括什么?	(224)