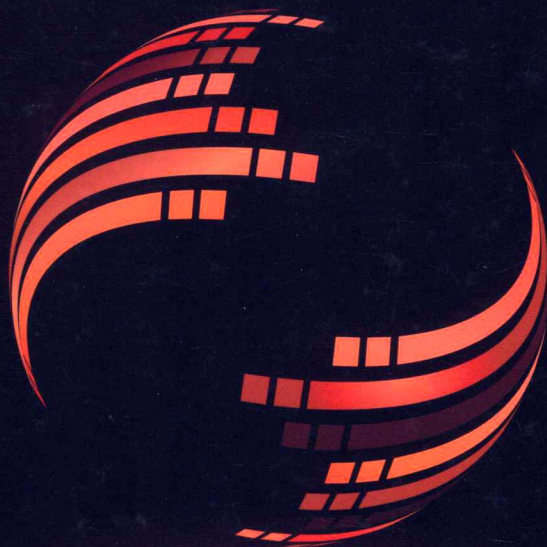


■ 杨贵恒 王秋虹 曹均灿 钱希森 等编著

现代电源技术手册



XIANDAI DIANYUAN
JISHU SHOUCHE



化学工业出版社

■ 杨贵恒 王秋虹 曹均灿 钱希森 等编著

现代电源技术手册



XIANDAI DIANYUAN
JISHU SHOUCHE



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电源技术手册/杨贵恒等编著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 10
ISBN 978-7-122-13644-2

I. ①现… II. ①杨… III. ①电源-技术手册
IV. ①TM91-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 028874 号

责任编辑: 刘 哲

文字编辑: 张燕文

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 29 字数 741 千字 2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 75.00 元

版权所有 违者必究

前言

现代电源技术已逐步发展成为一门涉及电力电子技术、电化学、微电子技术、现代控制理论、材料科学等多学科交叉的复杂技术。电源是电子设备的“心脏”，电源系统出现故障将会导致整个电子设备不能正常工作，其质量优劣直接关系到电子设备的使用性能。目前，电源产品已广泛应用于通信、电力、军事、航空航天、家用电器、工业自动化等社会的各个领域，电源技术也成为了十分热门的技术。随着我国电源行业的迅速发展，一方面需要一支庞大的专业研发队伍，另一方面也需要大量的使用与维修人员。

本书重点介绍了目前在社会各个领域应用广泛的直流稳定电源、交流稳定电源和化学电源的工作原理、结构组成、使用与维护以及故障检修等。全书共分10章：第1章至第3章主要介绍了线性稳压电源和高频开关电源各组成电路的工作原理以及典型线性稳压电源和高频开关电源系统的使用、参数调整与常见故障检修；第4章至第6章主要介绍了交流稳压电源和UPS各组成电路的工作原理以及典型交流稳压电源和UPS设备的使用、维护与常见故障的检修方法；第7章至第10章主要介绍了铅酸蓄电池、碱性蓄电池、锂离子电池和一次电池的结构、工作原理、性能、使用与维护技巧。

本书由杨贵恒、王秋虹、曹均灿、钱希森、强生泽、王华清、高进平、李龙、龚伟、张颖超、景有泉、刘扬、向成宣、王建红、叶奇睿、张传富、刘凡、蒲红梅、金丽萍、张瑞伟、聂金铜、詹天文、赵志旺、闫民华、朱鹏涛、王大伟、张杨俊和詹景君等共同编写，最后由杨贵恒统稿。另外，在本书编写过程中，温中珍、刘嫣婷、余江、杨芳、付保良、王涛、吴伟丽、蒋王莉、杨胜和杨莎等做了大量的资料搜集与整理工作。在编写过程中，中达电通股份有限公司、北京动力源科技股份有限公司、山特电子（深圳）有限公司、中兴通讯股份有限公司等单位的同仁提供了相关产品的技术资料。在出版过程中，得到了重庆通信学院训练部教保科的大力支持，在此表示衷心感谢！

本书内容全面丰富，涵盖了现代（通信）电源技术的主要方面。理论与应用兼顾，讲述工作原理和技术特性深入浅出，讲述电源设备的使用与维护着重实际操作技能。编写力求简明、通俗、易于理解和掌握，并力争体现出国内电源应用领域最新水平。本书可作为企业和科研单位电源设计开发人员、工程技术人员的参考工具书，也可供相关单位电源设备使用与维修人员阅读，还可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

在本书编写过程中，参阅了大量国内外有关电源技术方面的论文、专著和资料，在此对这些论文、专著和资料的作者和编者表示谢意。另外，由于编著者水平有限，书中难免存在有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

2012年6月

目录

| | |
|-------------------------|----|
| 绪论 | 1 |
| 0.1 电源的定义与分类 | 1 |
| 0.2 电力电子电源 | 1 |
| 0.2.1 电力电子电源的概念 | 1 |
| 0.2.2 电力电子电源的基本类型 | 2 |
| 0.2.3 电力电子电源的发展趋势 | 4 |
| 0.3 化学电源 | 6 |
| 0.3.1 化学电源的定义 | 6 |
| 0.3.2 化学电源的组成与分类 | 7 |
| 0.3.3 化学电源的应用 | 9 |
| 第1章 线性稳压电源 | 11 |
| 1.1 概述 | 11 |
| 1.1.1 线性稳压电源的基本结构 | 11 |
| 1.1.2 线性稳压电源的特点 | 12 |
| 1.2 线性稳压电源电路原理 | 12 |
| 1.2.1 串联型晶体管稳压电路 | 13 |
| 1.2.2 带有放大环节的串联型稳压电源电路 | 15 |
| 1.2.3 改进的串联型稳压电源电路 | 16 |
| 1.2.4 线性稳压电源的保护电路 | 20 |
| 1.2.5 限流和恒流电路 | 21 |
| 1.3 线性集成稳压电源 | 22 |
| 1.3.1 集成稳压器的命名方法 | 23 |
| 1.3.2 三端集成稳压器的封装形式与引脚功能 | 23 |
| 1.3.3 三端集成稳压器的典型应用 | 26 |
| 1.3.4 三端集成稳压器的扩展应用 | 28 |
| 1.3.5 用三端集成稳压器构成恒流源 | 32 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.4 30V/3A 线性稳压电源实例剖析 | 33 |
| 1.4.1 电路组成 | 33 |
| 1.4.2 工作原理 | 33 |
| 1.4.3 故障检修 | 37 |

第2章 高频开关电源电路原理 45

| | |
|--|----|
| 2.1 概述 | 45 |
| 2.1.1 开关电源的基本结构 | 45 |
| 2.1.2 开关电源的特点 | 46 |
| 2.1.3 开关电源的性能指标 | 48 |
| 2.2 功率因数校正电路 | 50 |
| 2.2.1 功率因数 (PF) 和总谐波畸变 (THD) 的定义 | 50 |
| 2.2.2 传统开关电源所存在的问题 | 50 |
| 2.2.3 功率因数校正的方法 | 51 |
| 2.2.4 典型功率因数校正电路 | 54 |
| 2.3 直流变换电路 | 59 |
| 2.3.1 时间比例控制原理 | 59 |
| 2.3.2 不隔离型 DC/DC 变换电路 | 61 |
| 2.3.3 隔离型 DC/DC 变换电路 | 62 |
| 2.4 保护电路 | 67 |
| 2.4.1 过电流保护电路 | 67 |
| 2.4.2 过电压保护电路 | 71 |
| 2.4.3 欠电压保护电路 | 72 |
| 2.4.4 过热保护电路 | 73 |

第3章 高频开关电源实例剖析 75

| | |
|---------------------------------|-----|
| 3.1 TDY48V/5A 开关电源 | 75 |
| 3.1.1 电路组成 | 75 |
| 3.1.2 工作原理 | 75 |
| 3.1.3 常见故障检修 | 82 |
| 3.2 MCS1800B 开关电源 | 91 |
| 3.2.1 系统概述 | 92 |
| 3.2.2 系统组成 | 95 |
| 3.2.3 系统操作与参数设定 | 107 |
| 3.2.4 使用保养与维护 | 119 |
| 3.3 DUM 开关电源 | 123 |
| 3.3.1 系统概述 | 123 |
| 3.3.2 工作原理 | 125 |
| 3.3.3 操作使用 | 129 |
| 3.3.4 运行维护 | 137 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 4.1 交流稳压电源常用元器件 | 141 |
| 4.1.1 饱和电抗器 | 141 |
| 4.1.2 磁放大器 | 144 |
| 4.1.3 伺服电机 | 145 |
| 4.1.4 双向晶闸管 | 146 |
| 4.2 交流稳压电源的分类 | 151 |
| 4.2.1 参数调整(谐振)型 | 151 |
| 4.2.2 自耦(变比)调整型 | 152 |
| 4.2.3 大功率补偿型 | 153 |
| 4.2.4 开关型 | 153 |
| 4.3 参数调整型稳压电源 | 154 |
| 4.3.1 铁磁谐振型稳压器 | 154 |
| 4.3.2 稳压变压器 | 159 |
| 4.3.3 磁放大器调整型稳压电源 | 165 |
| 4.3.4 磁放大器式改进型稳压电源 | 169 |
| 4.3.5 “净化”型稳压电源 | 173 |
| 4.4 自耦(变比)调整型交流稳压电源 | 178 |
| 4.4.1 单相自耦调压器型 | 179 |
| 4.4.2 三相自耦调压器型 | 181 |
| 4.4.3 使用与维护 | 183 |
| 4.4.4 其他类型自耦交流稳压电源 | 185 |
| 4.5 其他交流稳压电源 | 189 |
| 4.5.1 大功率补偿型交流稳压电源 | 189 |
| 4.5.2 开关型交流稳压电源 | 196 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 5.1 UPS概述 | 200 |
| 5.1.1 UPS的定义与作用 | 200 |
| 5.1.2 UPS的分类 | 202 |
| 5.1.3 UPS的性能指标 | 208 |
| 5.1.4 UPS的发展趋势 | 212 |
| 5.2 逆变电路 | 214 |
| 5.2.1 单相逆变电路 | 214 |
| 5.2.2 三相桥式逆变电路 | 217 |
| 5.2.3 保障逆变电路可靠运行的措施 | 221 |
| 5.3 脉宽调制控制技术 | 223 |
| 5.3.1 单脉冲PWM | 223 |

| | | |
|------------|----------------|-----|
| 5.3.2 | 多脉冲 PWM | 224 |
| 5.3.3 | SPWM | 224 |
| 5.4 | 相位跟踪 | 231 |
| 5.4.1 | 相位跟踪的一般方法 | 231 |
| 5.4.2 | 相位跟踪的实现 | 232 |
| 5.4.3 | 幅值跟踪 | 236 |
| 5.5 | 转换开关 | 237 |
| 5.5.1 | 转换开关的安全转换条件 | 237 |
| 5.5.2 | 转换开关的种类 | 238 |
| 5.5.3 | 检测与控制电路 | 238 |
| 5.6 | 保护电路 | 241 |
| 5.6.1 | 过、欠电压保护 | 241 |
| 5.6.2 | 过温保护 | 243 |
| 5.6.3 | 蓄电池过电压、欠电压保护 | 244 |
| 5.7 | 蓄电池充电电路 | 246 |
| 5.7.1 | 恒压式充电电路 | 246 |
| 5.7.2 | 先恒流后恒压式充电电路 | 247 |
| 5.7.3 | 采用智能芯片的充电控制器 | 253 |

第6章 UPS实例剖析 258

| | | |
|------------|-------------------------|-----|
| 6.1 | TDY-500V·A UPS | 258 |
| 6.1.1 | 结构框图及工作原理 | 258 |
| 6.1.2 | 逆变器稳压控制电路 | 259 |
| 6.1.3 | 交流稳压控制电路 | 263 |
| 6.1.4 | 市电-逆变器供电切换控制电路 | 264 |
| 6.1.5 | 充电电路及辅助电源 | 265 |
| 6.1.6 | 蓄电池欠电压保护及告警电路 | 266 |
| 6.2 | C(1~3kV·A)系列 UPS | 267 |
| 6.2.1 | 总体结构 | 267 |
| 6.2.2 | 性能参数及系统工作原理框图 | 268 |
| 6.2.3 | 电路工作原理 | 270 |
| 6.2.4 | C3kV·A UPS 维修参数 | 276 |
| 6.2.5 | 常见故障排除 | 279 |
| 6.3 | CASTLE-C10KS UPS | 282 |
| 6.3.1 | 系统简介 | 282 |
| 6.3.2 | 系统基本组成与工作原理 | 284 |
| 6.3.3 | 操作与使用 | 285 |
| 6.3.4 | 维护与维修 | 290 |
| 6.4 | ZXUPSM620 UPS | 292 |
| 6.4.1 | 系统概述 | 292 |

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 6.4.2 | 系统工作原理 | 299 |
| 6.4.3 | 操作与使用维护 | 303 |
| 6.4.4 | 设备常见故障及处理 | 310 |

第7章 铅酸蓄电池 312

| | | |
|------------|----------------------|-----|
| 7.1 | 概述 | 312 |
| 7.1.1 | 分类 | 312 |
| 7.1.2 | 型号 | 313 |
| 7.2 | 构造 | 314 |
| 7.2.1 | 电极 | 314 |
| 7.2.2 | 电解液 | 315 |
| 7.2.3 | 隔板(膜) | 318 |
| 7.2.4 | 电池槽 | 318 |
| 7.2.5 | 排气栓 | 320 |
| 7.2.6 | 附件 | 320 |
| 7.2.7 | 装配方式 | 321 |
| 7.3 | 工作原理 | 322 |
| 7.3.1 | 放电过程 | 322 |
| 7.3.2 | 充电过程 | 322 |
| 7.3.3 | 阀控式密封铅蓄电池的密封原理 | 323 |
| 7.4 | 性能 | 325 |
| 7.4.1 | 内阻 | 325 |
| 7.4.2 | 电动势 | 327 |
| 7.4.3 | 开路电压 | 329 |
| 7.4.4 | 端电压 | 329 |
| 7.4.5 | 容量 | 333 |
| 7.4.6 | 自放电 | 338 |
| 7.4.7 | 寿命特性 | 343 |
| 7.5 | 充电方法 | 344 |
| 7.5.1 | 恒流充电法 | 344 |
| 7.5.2 | 恒压充电法 | 345 |
| 7.5.3 | 分级恒流充电法 | 345 |
| 7.5.4 | 先恒流后恒压充电法 | 346 |
| 7.5.5 | 限流恒压充电法 | 346 |
| 7.5.6 | 快速充电 | 346 |
| 7.6 | 运行方式 | 348 |
| 7.6.1 | 充放电运行方式 | 348 |
| 7.6.2 | 全浮充运行方式 | 348 |
| 7.6.3 | 半浮充运行方式 | 352 |
| 7.7 | 失效模式 | 352 |

| | | |
|------------|-------------|------------|
| 7.7.1 | 硫化 | 353 |
| 7.7.2 | 内部短路 | 355 |
| 7.7.3 | 反极 | 357 |
| 7.7.4 | 正极板栅腐蚀 | 358 |
| 7.7.5 | 失水 | 358 |
| 7.7.6 | 热失控 | 360 |
| 7.7.7 | 早期容量损失 | 360 |
| 7.7.8 | 负极汇流排的腐蚀 | 361 |
| 7.8 | 维护方法 | 362 |
| 7.8.1 | 安装方法 | 362 |
| 7.8.2 | 充电维护方法 | 362 |
| 7.8.3 | 日常维护 | 365 |
| 7.8.4 | 剩余容量的测量 | 367 |

第8章 碱性蓄电池 370

| | | |
|------------|-----------------|------------|
| 8.1 | 概述 | 370 |
| 8.1.1 | 分类 | 370 |
| 8.1.2 | 型号 | 371 |
| 8.1.3 | 特点与用途 | 372 |
| 8.2 | 镉镍蓄电池 | 373 |
| 8.2.1 | 构造 | 373 |
| 8.2.2 | 工作原理 | 378 |
| 8.2.3 | 性能 | 379 |
| 8.2.4 | 使用与维护 | 383 |
| 8.3 | 锌银蓄电池 | 388 |
| 8.3.1 | 结构 | 388 |
| 8.3.2 | 工作原理 | 389 |
| 8.3.3 | 性能 | 390 |
| 8.3.4 | 使用与维护 | 393 |
| 8.3.5 | 常见故障 | 396 |
| 8.4 | 氢化物-镍蓄电池 | 397 |
| 8.4.1 | 结构 | 397 |
| 8.4.2 | 工作原理和密封原理 | 403 |
| 8.4.3 | 性能 | 404 |
| 8.4.4 | 使用与维护 | 407 |

第9章 锂离子电池 409

| | | |
|------------|-----------|------------|
| 9.1 | 概述 | 409 |
| 9.1.1 | 发展历史 | 409 |

| | | |
|------------|-----------------|-----|
| 9.1.2 | 特点与应用前景 | 410 |
| 9.1.3 | 种类与型号 | 411 |
| 9.2 | 液态锂离子电池 | 412 |
| 9.2.1 | 结构 | 412 |
| 9.2.2 | 工作原理 | 418 |
| 9.2.3 | 性能 | 419 |
| 9.2.4 | 使用方法 | 421 |
| 9.3 | 聚合物锂离子电池 | 422 |
| 9.3.1 | 概述 | 422 |
| 9.3.2 | 结构和工作原理 | 423 |
| 9.3.3 | 性能 | 424 |

第10章 一次电池 426

| | | |
|-------------|------------------|-----|
| 10.1 | 锌锰电池 | 427 |
| 10.1.1 | 概述 | 427 |
| 10.1.2 | 分类及工作原理 | 427 |
| 10.1.3 | 构造 | 429 |
| 10.1.4 | 型号 | 431 |
| 10.1.5 | 性能 | 432 |
| 10.2 | 锂电池 | 434 |
| 10.2.1 | 概述 | 434 |
| 10.2.2 | 工作原理 | 436 |
| 10.2.3 | 构造 | 437 |
| 10.2.4 | 锂-二氧化锰电池 | 438 |
| 10.2.5 | 锂-二氧化硫电池 | 441 |
| 10.2.6 | 锂-亚硫酰氯电池 | 442 |
| 10.2.7 | 锂-氧化铜电池 | 445 |
| 10.2.8 | 锂-碘电池 | 448 |
| 10.3 | 一次电池的使用方法 | 451 |
| 10.3.1 | 使用注意事项 | 451 |
| 10.3.2 | 选购方法 | 451 |
| 10.3.3 | 废电池的处置 | 451 |

参考文献 452

绪 论

在现代高科技时代，随着科学技术的进步，在科技实践中，攻克一些技术难关的关键往往是电源，有必要把研究电源作为科学体系的一部分，去专门研究电源理论和开发电源产品。

0.1 电源的定义与分类

电源是指能发出电能或进行电能变换可供人们使用的装置。根据能量的来源不同可将其分为三类。

① 把其他形式的能转换为电能，如火力、水力、风力及核能发电等。一般称这种电源为一次电源或发电设备（即供电电源，俗称电网或市电）。

② 在电能传递过程中，在供电电源与负载之间对电能进行变换或稳定处理。一般称这种电源为二次电源或电力电子电源（即对已有的电源进行控制）。

③ 平时把能量以某种形式储存起来，使用时再将其转换为电能供给负载。目前利用最多的储存形式是化学能，与其对应的装置称为化学电源，其典型器件是各种蓄电池。

本书主要讲述后面两种形式的电源：电力电子电源和化学电源。

0.2 电力电子电源

0.2.1 电力电子电源的概念

电力电子电源是一种介于供电电源与负载之间的电能加工厂，它不能产生电能，只能起到对电能进行参数变换或稳定处理的作用。通常，在通信领域用到的电能变换设备主要有直流稳定电源和交流稳定电源两大类。人们之所以需要这种设备，主要是人们所使用的各种用电设备对供电保障都有一定要求，这些要求包括供电电源应为交流还是直流、电压额定值及其变化范围、频率额定值及其变化范围、最大功率等，其中对供电电压的要求是最常见的也是最重要的一项要求。例如，有的用电设备要求为之提供额定频率为 50Hz、额定电压为 220V 的交流电，而且电压的变化不超过额定值的 $\pm 10\%$ ，即电压应在 198V 到 242V 之间，



如果超出这个范围,可能导致用电设备工作不正常;采用锂离子电池手机的配套充电电源,要求其输出为直流,电压上限为 4.2V,且最大输出电流要控制在某额定值以下,否则就有可能导致锂离子电池损坏。对其他用电设备而言,对供电电压保持稳定不变的要求可能比手机充电电源等生活用电设备更严格。

通过上述可以看出,电能变换设备是一种介于发电设备与用电设备之间的必备设备。仅就用电设备的供电电压这一个参数而言,其值应该具有一定的稳定性,最好是供电的电压稳定不变。但用电设备一经确定之后,为之供电的电压也就确定了,于是为之供电的电源电压能否满足用电设备需求,就成了由供电电源本身决定的事。一般来说,当供电电源电压的稳定性不能满足负载要求时,最简单的办法就是在负载前面加装一个调压器,这个调压器送给负载的可以是直流也可以是交流,通过调压器将供给负载的电压调到符合要求。但人工调整不但麻烦,有时甚至是不可能的,于是电压能够自动调整和稳定的稳压电源(稳压器)便应运而生。这种电源的功能就是自动保持输出电压的稳定。当然,这里所说的“稳定”,是说电压的变化比较小,并不是绝对不变。

要制造这种自动稳压的电能变换设备(包括实现参数变换或稳定处理的其他设备),就必须有相应的技术理论作支撑,这种技术理论就是电力电子(Power Electronics)技术。电力电子技术是以电能控制和变换为研究对象的电子技术,是一门利用由电力电子器件构成的电能变换电路对电能进行变换和控制的学科,可以认为电力电子技术就是电能处理技术。正是由于电力电子技术在电能变换设备中的支撑作用,人们通常将利用电力电子技术而制造出的电能变换设备称为电力电子电源设备,也称为电力电子电源或功率变换电源。

0.2.2 电力电子电源的基本类型

一般而言,人们总是以两种形式利用电能,即直流和交流。因此电力电子电源就可以根据其电能变换过程中的功能和作用,按输入和输出的电能形式,将其分为交流电变换为直流电(AC/DC)、交流电变换为交流电(AC/AC)、直流电变换为交流电(DC/AC)和直流电变换为直流电(DC/DC)四类。将实现交流电变换为直流电的设备称为整流器,将实现交流电变换为交流电的设备称为交流稳压器(稳定输出交流电压而不稳定输出交流电频率)或变频器(既可改变输出交流电压又能改变输出交流电频率),将实现直流电变换为交流电的设备称为逆变器,将实现直流电变换为直流电的设备称为直流变换器。在以上的分类名称中,之所以将各种电能变换设备都称为“器”,其原因有两个方面,一是“器”字本身表示了装置的概念,二是用“器”字表示了装置的相对静止,以此区别有机运动类的电源设备,如内燃机、电动机和发电机等都表示其自身含有机械运动过程或环节,因此这类设备都称为“机”。

当然,以上对电能变换类电源进行分类的方法不是唯一的,也就是说对电能变换类电源还有其他的分类方法,如依照输出是直流电还是交流电而分为直流电源和交流电源,依照所采用的具体技术不同,可分为线性、相控及开关型电源等。有时人们还更习惯于将各种分类方式综合使用,如将采用开关变换技术制造的整流器称为高频开关型整流器或高频开关电源,将采用线性调整技术制造的整流器称为直流线性稳压(稳流)电源。

以下列举几种常见的电源设备,同时对其基本功能和技术特点进行简要介绍。

(1) 线性直流稳压电源

这是一种用功率调整管与负载串联,使输出直流电压或直流电流稳定的设备,也称串联调整型直流稳定电源。它有直流稳压型和直流稳流型两种。它一般由电源变压器、二极管整

流电路、滤波电路、调整管和控制电路等几部分组成。输入交流电经变压器隔离变压、整流、平滑滤波，再经过调整管调整，向负载提供比较稳定的直流电能。当输入端交流电压或负载端电流变化引起输出不稳定时，控制电路根据输出的变化，适时改变调整管的压降，使输出的直流电压或直流电流保持稳定。线性电源具有电路简单、纹波小、电磁兼容性好、稳压精度高的优点，以及体积大、效率低的缺点，通常只宜作为小功率直流电源，尤其适宜作微功率直流电源，是通信设备常用的一种小功率直流稳压电源。随着电力电子技术的不断更新，它正向着高效率 and 集成化方向发展。

(2) 晶闸管相控整流电源

这是一种以晶闸管及整流二极管为功率器件，将交流电变换为直流电的设备。按其输入交流电的相数不同，可分为单相和三相两种，按其电路的组成不同，又可分为全控型和半控型两类。它一般由变压器、整流电路、滤波电路和控制电路等部分组成。交流电经变压器变压隔离、整流和滤波，变换成直流电输出。当输入的交流电压变化或负载电流变化引起输出不稳定时，控制电路适时改变晶闸管的触发脉冲相位，使晶闸管的导通角发生变化，从而使输出量保持稳定。它与高频开关电源相比较，具有主电路结构简单、控制方便的优点，以及体积大、瞬态特性差、功率因数低和有可闻噪声的缺点。20世纪90年代以前，以KGVA整流器为代表的相控电源曾广泛应用于通信领域，是通信电源系统的重要组成部分，但此后逐渐被性能优良的高频开关电源所取代。

(3) 高频开关电源

这是一种利用工作在高速开关状态的功率半导体器件，将交流或直流电变换成用电设备所需直流电的装置。它分为开关整流器和直流变换器两类。开关整流器通常由工频整流滤波、高频逆变、高频整流滤波、保护、控制和脉冲驱动等电路组成。输入的交流电经直接整流滤波，然后由处于硬开关或软开关条件下的逆变电路进行电气隔离和电压变换，再经高频整流滤波，得到所需的直流电。直流变换器的工作原理与开关整流器基本相同，区别在于直流变换器输入的是直流电，结构中没有工频整流滤波电路。与线性稳压电源和相控整流器相比，高频开关电源具有效率高、体积小、重量轻、稳压范围宽、可靠性好等优点，以及输出纹波电压大、控制电路复杂等缺点。高频开关电源问世于20世纪70年代，是传统的线性电源和相控电源的换代产品，目前广泛应用于通信领域。随着电力电子器件和其他元器件的不断更新，出现了全谐振、准谐振、软开关等多种新的变换模式与方法，使开关电源的发展将更加趋向于小型化、数字化与模块化。

(4) 交流稳压电源

这是一种将电压不稳定的交流电处理成电压稳定的交流电的装置，也称交流稳压器。按其结构的不同，可分为参数调整（谐振）型、自耦变比调整型、大功率补偿型和开关型；按其电压的相数不同，可分为单相和三相；按其有无机械触点，可分为有触点型和无触点型。参数调整型是利用电感、电容串联谐振实现稳压，其特点是稳压精度高、抗干扰能力强、稳压范围宽、寿命长，但体积大、效率低、稳压精度受频率变化的影响大。自耦变比调整型是利用改变自耦变压器变比实现稳压，其特点是结构简单、价格低，但其动态特性差、没有抗干扰能力。大功率补偿型是通过改变串联补偿电压的大小实现稳压，其特点是输出功率大、不产生附加相位失真，但动态响应速度慢、抗干扰能力弱。开关型是利用脉宽调制技术产生串联补偿电压实现稳压，其特点是体积小、重量轻、效率高及响应速度快，但控制电路复杂且价格较高。20世纪70年代以前，参数调整型是交流稳压电源的主要代表，其后自耦变比调整型稳压电源逐步使用。自20世纪90年代开始，补偿型交流稳压电源大量使用，同时开

大型交流稳压电源开始被研究并逐渐被应用。交流稳压电源在通信系统中应用广泛，今后的发展趋势是小型化、轻量化、智能化。

(5) 交流变频电源

这是一种进行交流电频率变换的装置，也称为交流变频器。它的输入为某固定频率的单相或三相交流电，输出的单相或三相交流电频率可以与输入频率相同，也可以与输入频率相异。按其工作原理分可为动态型和静止型两类。动态型是一种由交流电-交流电动机-交流发电机组成的交流变频电源。其工作原理是：由交流电驱动电动机旋转，进而带动发电机发出所需频率的交流电。静止型是一种由半导体器件制作的交流变频电源。一般由输入整流电路、滤波电路、逆变电路和控制电路等几部分组成。其工作原理是：输入的交流电经输入整流和滤波变为直流，然后经逆变电路变换为某一频率的交流电输出。它与动态型相比具有体积小、效率高、安装方便、无噪声和维护费用少等优点。交流变频电源的性能指标主要有输入电压、频率、输出电压、波形、输出容量、输入功率因数和变换效率等，在供电频率和电压有严格要求的场合应用广泛。

(6) 交流不间断电源

交流不间断电源简称 UPS (Uninterruptible Power System)，是一种当输入交流电发生异常时，能继续向负载提供交流电能的设备。按其工作原理分可为动态型和静止型两类。交流不间断电源的发展初期，采用的是动态型模式，20 世纪 60 年代以后，出现了静止型产品，并逐步取代了动态型产品。交流不间断电源主要用于为通信系统或设备提供连续、优质的交流电能供给，今后将进一步向模块化、小型化、轻量化、智能化方向发展。

0.2.3 电力电子电源的发展趋势

(1) 电力电子器件方面

在功率器件的制造与使用方面，目前呈现的态势是：以绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 为代表的全控型器件逐渐占领舞台，模块化的大功率集成电路将粉墨登场，晶闸管和大功率三极管逐渐淡出市场。由于功率器件是电能变换技术发展的基础，所以人们一直在追求制造好、使用好的功率器件。功率器件性能的优劣，主要通过其电压承受能力、最大通流能力、最高开关频率、控制的方便程度等方面进行衡量。早期的功率器件是晶闸管 (SCR)，后来又有了功率晶体管 (GTR)、功率场效应晶体管 (MOSFET) 和 IGBT 等。SCR 虽然具有高耐压、大电流的优点，但开关频率太低，又是一种半控型器件，注定了逐渐淡出的命运；GTR 虽然是一种全控型器件，导通压降也比较低，但驱动控制极为不便，况且在电路中还存在着二次击穿的威胁；MOSFET 是一种电压控制的全控型器件，开关频率高，可达兆赫兹，控制和并联使用方便，但目前还存在着耐压不高及导通压降比较大的不足。针对这些不足，人们的研究重点主要在 IGBT，它兼顾了功率晶体管和功率场效应晶体管的优点，实现了两者的优缺点互补，因此，自其面世以来便受到人们的青睐，已逐渐成为功率器件的主角。此外，集功率器件、驱动电路、保护电路和接口电路于一身的模块化大功率集成电路 (PIC) 已有产品问世，它为电力电子电源设备的集成化和模块化奠定了基础，同时也给设备的制造、维护和维修带来了方便。预计全控型功率器件的性能会更加完善，模块化的大功率集成电路会大量付诸应用，基于碳化硅等新型材料的功率器件也将会面世并逐步走向商业化，并不断推动电能变换电路及其控制技术的创新与发展。

(2) 电能变换电路与工作模式方面

由于功率器件的更新换代,早期的晶闸管被可关断晶闸管(GTO)、MOSFET和IGBT等功率器件所取代,进而出现了与时间比例控制(TRC)相适应的多种电路拓扑,出现了与多电平控制相适应的新型电路拓扑及控制思想,出现了功率因数校正、同步整流、并联均流、软开关等新技术,克服了传统设备网侧功率因数低、谐波严重、体积大、效率低和重量重等缺点,推动了电力电子电源的发展。

推动电力电子电源技术发展最重要的原因是全控型功率器件的出现和TRC技术的应用,基于这两点就可以使电路中的功率器件工作在类似于开关的状态,省去笨重的工频变压器,使设备具有体积小、重量轻、效率高、动态性能好等一系列优点。

由于电能变换技术是研制开发电力电子电源设备的技术理论基础,所以可以预期今后一段时间内,将围绕着制造大功率高性能的电力电子器件、有针对性地探索新型电路拓扑、进一步提高变换效率、寻求科学合理的控制模式和方法以及减少变换污染等方面进行研究与实践,定会推动电力电子电源产品的发展。

(3) 控制技术方面

当前以模拟控制方式为主,今后一段时期内模拟和数字两种方式交叉应用,未来数字控制方式必定取代模拟控制方式。电力电子电源设备之所以能够实现预定的功能,就是因为有控制电路的实时和精确控制,所以控制技术是电力电子电源设备中必不可少的关键技术之一。目前,在电能变换过程中,特别是在电能变换主电路的控制方面,主要应用的是模拟控制方法。这种控制方式虽然具有响应速度快和实现方便等优点,但存在着抗干扰能力不强和容易畸变失真的弊端。而采用基于数字电路的数字控制方式,便于计算机处理控制,可以在很大程度上避免模拟信号面临的畸变失真问题,显著提高了控制电路的抗干扰能力,便于故障自诊断和容错等技术的植入。但是,目前在电能变换的全过程中实现数字控制还有一定困难,其原因在于市场需求以及数字电路处理信号本身等多个方面。因此,控制技术在向数字化发展过程中,必然有一个时期是模拟与数字综合应用的阶段,待条件具备后才能由数字控制技术取代模拟控制技术,这个过程预计还要一段时间。

(4) 电力电子电源设备方面

电力电子电源设备的发展既要受电力电子技术发展的制约,又要受到设备制造技术、市场需求、制造成本与利润等多方面因素的影响,要准确判断其今后的发展趋势并非易事。因此,基于目前设备和技术现状,结合市场对设备的大致需求,宏观判断今后电力电子电源设备的发展趋势如下。

其一是高频化和小型化。在开关变换技术的发展和推动下,尤其是软开关变换技术的日益成熟与应用,为进一步提高电力电子电源中的功率开关器件工作频率奠定了基础。而功率开关器件工作频率的进一步提高,可使相同功率的电力电子电源设备的体积和重量减小,单位体积的输出功率(功率密度)增加,改善动态响应特性。因此,提高变换电路的工作频率无疑将是电力电子电源设备今后的一种发展趋势。

其二是标准化和模块化。电力电子电源设备的标准化是指设备的产品型号、系列、电气性能和接口的标准化。其中接口的标准化包括接口的物理结构、接线方式、连接电缆的长度、输出的路数、输入/输出电能形式、交流电的相数、电压等级、电压极性、接地规定、功率等级、频率及其他电性能指标,此外还包括应用软件、监控管理及与各种用电设备的匹配等相关内容的标准化。实现电力电子电源接口标准化的途径就是要综合不同的用户需求,有针对性地制定具体要求,并以法规的形式规范研制和生产。一般而言,实现电力电子电源设备标准化含有使这类设备通用化的意思,因此电力电子电源设备走标准化的道路,是实现



单一设备或其中单元的基本结构、功能和指标统一的一种途径，是力求减少产品品种并使其在功能和结构上通用的一种方法，是实现电源系统与单一设备之间、单一设备与其组成单元之间、电源系统与用户之间结构匹配协调的有效措施，可以使科研、生产和使用三者之间关系更协调，容易实现系统的效费比合理和指标最优。

电力电子电源的模块化是指将具有特定功能和结构的独立单元按系统集成的原则组合在一起，以求最大限度地发挥设备效能，提升供电保障可靠性，改善设备维修性的一种设计方法。实现电力电子电源模块化的途径就是将电力电子电源的功能块划分出来，单独做成通用模块，使之具有标准化的结构和接口，而整个设备本身就是各个功能模块的系统集成或“积木式”叠加。目前，某些类别的电力电子电源设备已经在走模块化的发展道路，如通信用高频开关电源、交流不间断电源（UPS）等。实现电力电子电源设备模块化，不但方便了用户使用，提高了设备的维修性能，还可以使设备的扩容更加方便，尤其是便于实现系统的冗余供电模式，从而提升供电系统的可靠性。

其三是数字化和智能化。电力电子电源设备的数字化是指利用数字技术，以数字信号代替传统的模拟信号，完成指定操作和预定功能的过程。实现电力电子电源设备数字化的主要方法是“附加”和“嵌入”，前者是在已有设备中附加某些硬件，使其具有数字化功能；后者是先研制数字化新系统，而后将其嵌入设备之中。例如，数字控制的开关电源，可以通过单片机对开关电源的工作实行间接控制而实现数字化，也可以通过高性能数字控制集成电路对开关电源实现直接控制而实现数字化。可以预期，电力电子电源的模拟控制与数字控制这两种不同的技术将在今后多年内长期共存，但数字化的发展趋势毋庸置疑。

电力电子电源设备或系统的智能化是指在单一的电力电子电源设备或系统中，借助传感器采集信息，网络传递信息，计算机分析、判断和处理信息，自动化执行机构执行规定的动作，其整个过程是封闭的并且是智能化的。随着计算机技术和人工智能技术的深入研究，使得电力电子电源设备或系统的智能化呈现强劲的发展势头。例如，在电力电子电源设备或系统中实现故障自诊断、预先报警管理，在通信局站供电系统中实现网络化集中监控管理，对设备生产、储运、配送和维修的全过程实现智能化精确管理等。

其四是绿色化和隐身化。电力电子电源设备的绿色化是指设备的发展要向全寿命物质利用率高、浪费资源少、污染环境小及与环境相协调的方向发展。要达到这一目标，首先是要研究实现设备绿色化的技术，包括高效能量变换技术、传导及辐射干扰控制技术、有源功率因数校正技术等；其次是要利用绿色化技术和绿色化理念实施电力电子电源的设计，使设计出的产品方便拆卸、分解，零部件可以翻新、重复使用，这样既保护了环境，避免了资源的浪费，减少了垃圾数量，也增强了设备的可维修性。

隐身化一词多用于军事装备，是指采取必要的多谱隐身技术与措施，最大限度地消除装备可见光的反射、自身的红外辐射、反射雷达波、反射激光、自身的电磁特征信号和声振特征信号，达到与环境的融合、协调，提高装备的战场生存能力。如果将电力电子电源设备用于军事领域，其设备自身的隐身性能就是一个必须考虑的课题，而从欧美等军事强国的装备发展过程来看，军用电力电子电源装备的隐身化也是一个必然的趋势。

0.3 化学电源

0.3.1 化学电源的定义

通过化学反应将化学能直接转换为电能的装置称为化学电源，又称化学电池，如常见的