

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

# 电源技术与通信电源设备

陈梓城 主编

高等教育出版社

# 前 言

本教材依据高等职业教育电子类专业《电源技术课程教学大纲》和通信技术专业《通信电源课程教学大纲》编写而成。通信电源是电源技术在通信行业中的应用,通信电源的技术水平充分代表了电源技术的水平,从通信技术和电源技术发展历史与现状看,通信信息行业的发展及其对电源的要求推动和促进了电源技术的发展及进步;电源技术应用十分广泛,各种电子设备均需电源电路,但其基本电路是相同的。为此,编者尝试将两课程教学内容合编成一本教材。为增强适用性,对“电源技术”的教学内容进行重组,改变传统教材花大量篇幅介绍分立元件电源和一些早期集成器件在视频设备、微机与外围设备及其他电子设备上的应用的编写方法,把重点放在电源新技术及新型器件的原理、基本电路及其应用上,同时兼顾传统习惯,编入了新型电源芯片在微机、VCD、彩电等电子设备上的应用示例等内容。编写过程中力求做到以职业能力培养为主线,体现先进性、实用性、浅显性特点。

(1) 突出教学内容的先进性。随着电子科技飞速发展,电子新器件、新技术层出不穷,教材编写过程中力求体现教学内容的先进性,强调一个“新”字。除晶闸管电路和原理电路外,不再介绍分立元件电路。将近年来推出的三端单片开关电源、新型基准电压源、集成电流源、软开关技术、功率因数校正技术、并联均流技术及其控制芯片应用等内容编入教材。

(2) 增强实用性和能力培养的针对性。加强电源芯片和新技术控制芯片的引脚功能、使用注意事项、外接元件估算选择等内容的教学,把重点放在集成芯片、新技术及其应用上。同时进行实用电路分析,编入应用示例和设计示例,提高学生的读图能力、电路分析能力和电路应用能力与设计能力。以期达到学了会用、学了有用的目的。

(3) 降低教材难度,在通俗易懂上下功夫。编写过程中删除难度大的数学推导,直接给出估算公式;把新概念建立在易学易懂的技术基础课的知识上;在突出实用的基础上把难度降下来。

(4) 为增强教材的适用性,编有较多开关电源芯片及其应用的介绍,供各校选用。

(5) 开关电源设计单独成章,编有课程设计选题,供选用。

(6) 每章编有本章小结、练习题。

本教材可作为“电源技术”、“实用电源技术”、“通信基础电源”、“通信电源”等课程教材,也可作为工程技术人员的参考书。

本教材部分电路参照有关产品说明书,故部分图形符号未采用国家标准。书中打\*号的为选学内容。

本教材由陈梓城教授任主编,李伟明、陈强工程师和王蓉老师参编。陈梓城编写了第1章、第4章和附录,李伟明编写了第2章,陈强编写了第6章、第7章,王蓉编写了第5章,第3章由陈梓城、王蓉共同编写,第8章由陈梓城、李伟明共同编写。全书由陈梓城统稿。

本教材由江西财经大学电子学院黄俊耀副教授任主审,他认真审阅了编写提纲和教材初稿,

并提出了许多宝贵意见和建议,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,错误与不妥之处在所难免,敬请同行和读者指正。

编者

2004年6月

# 目 录

<b>第 1 章 电源技术概述及通信电源系统的组成</b> .....	1
1.1 电源技术概述 .....	1
1.1.1 电源的定义和电源技术的研究对象 .....	1
1.1.2 电源的分类 .....	2
1.1.3 电源技术的发展趋势 .....	4
1.2 现代通信电源系统的组成 .....	6
1.2.1 通信设备对电源系统的要求及通信电源的分类 .....	6
1.2.2 集中供电方式电源系统的组成 .....	8
1.2.3 分散供电方式电源系统的组成 .....	11
1.2.4 混合供电方式电源系统的组成 .....	12
1.2.5 一体化供电方式电源系统的组成 .....	14
本章小结 .....	14
习题 .....	15
<b>第 2 章 相位控制型电源</b> .....	16
2.1 晶闸管的工作原理 .....	16
2.1.1 晶闸管的结构及电路符号 .....	16
2.1.2 晶闸管的工作原理 .....	17
2.1.3 晶闸管的电压-电流关系及主要参数 .....	19
2.1.4 双向晶闸管和可关断晶闸管 .....	21
2.2 可控整流技术 .....	22
2.2.1 单相半控电阻性负载整流电路 .....	22
2.2.2 单相半控电感性负载整流电路及续流二极管 .....	23
2.2.3 单相桥式半控整流电路 .....	25
2.2.4 三相半波相控整流电路 .....	29
2.2.5 三相桥式半控整流电路 .....	32
2.2.6 三相桥式全控整流电路 .....	34
2.3 触发电路 .....	37
2.3.1 晶闸管触发电路的要求 .....	38
2.3.2 单结晶体管的结构与特性 .....	38
2.3.3 单结晶体管触发电路 .....	40
2.3.4 集成触发电路简介 .....	40
2.3.5 触发二极管简介 .....	43
2.4 DZ603 系列通信用晶闸管整流器 .....	44
2.4.1 主要技术指标和主要组成部分 .....	44
2.4.2 主回路的工作原理 .....	44
2.4.3 调整系统的工作原理 .....	46
2.4.4 信号保护电路的工作原理 .....	51
2.4.5 开机和停机的原理 .....	53
2.4.6 使用维护注意事项 .....	55
本章小结 .....	56
习题 .....	56
<b>第 3 章 基准源与程控电源</b> .....	59
3.1 基准电压源及其应用 .....	59
3.1.1 带隙基准电压源的基本原理 .....	59
3.1.2 MC1403 基准电压源及其应用 .....	60
3.1.3 ICL8069 型基准电压源 .....	61
3.1.4 LM399 精密基准电压源 .....	62
3.1.5 TL431 精密可调电压基准源及其应用 .....	63
3.2 集成恒流源 .....	66
3.2.1 恒流源的分类 .....	66
3.2.2 恒流二极管和三极管及其应用 .....	66
3.2.3 可调式精密集成恒流源及其应用 .....	70
3.3 程控电源和直流标准源 .....	73
3.3.1 程控电源的基本原理 .....	73
3.3.2 传统程控电源 .....	74
3.3.3 数字式程控电源 .....	75
3.3.4 PWM 直流标准电源产品示例 .....	80
本章小结 .....	81
习题 .....	82
<b>第 4 章 开关型稳压电源</b> .....	84
4.1 开关型稳压电源概述 .....	84
4.1.1 开关型稳压电源的组成和特点 .....	84

4.1.2	开关电源的分类	85	4.6.5	相移全桥 ZVS - PWM 集成控制 器 UC3875 及其应用	138
4.1.3	开关电源的主要性能指标及其 分析	85	4.7	脉冲频率调制器 (PFM) 及其 应用	141
4.2	开关电源的功率变换电路	88	4.7.1	UC1864 的引脚功能及其工作 原理	141
4.2.1	常用功率开关管简介	88	4.7.2	UC1864 实用电路示例	145
4.2.2	串联开关变换电路	90	4.7.3	电流谐振集成控制器 GP605 及其 应用	145
4.2.3	并联开关变换电路	92	4.8	并联均流技术及其应用	150
4.2.4	Cuk 变换电路	94	4.8.1	均分负载电流的概念	150
4.2.5	由变压器和开关管组成的功率变 换器	95	4.8.2	并联均流的基本方法	151
4.2.6	功率变换器的比较与应用	100	4.8.3	负载均流集成控制器 UC3907 的 应用	153
4.3	功率因数校正基本电路	102	4.8.4	负载均流集成控制器 UC3902 的 应用	157
4.3.1	功率因数及功率因数的校正方法	102	*4.9	单片开关集成稳压器及其应用	162
4.3.2	有源功率因数校正电路的基本 原理	103	4.9.1	三端单片开关集成稳压器	162
4.3.3	有源功率因数校正控制器 UC1854/ 3854 及其应用	104	4.9.2	三端单片开关电源在 VCD 机上的 应用	166
4.4	零电压转换 (ZVT) 单相有源功率 因数校正电路	111	4.9.3	多端单片开关电源及其应用	168
4.4.1	零电压转换 (ZVT) 有源功率因数校 正电路的基本原理	112	4.10	开关电源模块及其应用	178
4.4.2	ZVT - PFC 主电路的参数选择	113	4.10.1	开关电源模块的特点	178
4.4.3	由 UC3854 构成的 ZVT - PFC 控制电路	115	4.10.2	开关电源模块产品的分类	179
4.4.4	由 UC3855 构成的 ZVT - PFC 控制 电路	115	4.10.3	开关电源模块示例	179
4.5	PWM 集成控制器及其应用	119	*4.11	高频开关电源系统分析 ——DUM23 智能型高频开关组合 电源系统	183
4.5.1	PWM 集成控制器的原理及分类	119	4.11.1	DUM23 智能型高频开关组合电源 系统概述	183
4.5.2	电流型 PWM 集成控制器 UC3842/3/4/5 及其应用	119	4.11.2	DMA10 型开关电源整流模块	183
4.5.3	由 STR - S6708/6709 构成的彩电 开关电源	126	4.11.3	DK04 系列监控模块	193
4.5.4	由 TL494 构成的微型计算机开关 电源	129	本章小结	199	
4.6	谐振型开关变换技术	133	习题	200	
4.6.1	应用谐振型开关变换技术的缘由	133	<b>第 5 章 物理电源与化学电源</b>	203	
4.6.2	基本谐振开关电路	135	5.1	铅酸蓄电池及其应用	203
4.6.3	谐振开关变换技术与双零转换变换 技术的比较	136	5.1.1	铅酸蓄电池的结构	203
4.6.4	谐振型开关电源的应用	137	5.1.2	铅酸蓄电池的工作原理	203
			5.1.3	铅酸蓄电池的主要特性	204
			5.1.4	铅酸蓄电池的使用	205

5.1.5 阀控铅酸蓄电池 .....	207	6.3.3 在线式 UPS 双闭环控制电路 .....	257
5.2 镍镉蓄电池 .....	210	6.3.4 在线式 UPS 同步锁相电路 .....	260
5.2.1 镍镉蓄电池的结构 .....	210	6.4 UPS 的选用与安装 .....	262
5.2.2 镍镉蓄电池的工作原理 .....	210	6.4.1 UPS 的类型及输出波形的选择 .....	262
5.2.3 镍镉蓄电池的主要特性 .....	210	6.4.2 UPS 的功率及波峰因数的选择 .....	263
5.3 镍氢蓄电池 .....	212	6.4.3 电池后备时间的选择 .....	264
5.3.1 镍氢蓄电池的结构 .....	212	6.4.4 UPS 供电方式的选择 .....	264
5.3.2 镍氢蓄电池的工作原理 .....	212	6.4.5 UPS 的安装 .....	265
5.3.3 镍氢蓄电池的主要特性 .....	212	本章小结 .....	266
5.4 锂离子电池 .....	214	习题 .....	266
5.4.1 锂离子电池的结构 .....	214	<b>第 7 章 通信电源集中监控系统</b> .....	268
5.4.2 锂离子电池的工作原理 .....	214	7.1 智能监控系统概述 .....	268
5.4.3 锂离子电池的主要特性 .....	215	7.1.1 集中监控的内容 .....	268
5.4.4 锂离子电池的主要优缺点 .....	216	7.1.2 监控系统的基本功能 .....	270
5.5 电池充电电路 .....	218	7.1.3 集中监控系统的组成 .....	270
5.5.1 阀控铅酸蓄电池集成快速充电器 UC3906 及其应用 .....	218	7.2 调制解调器及接口 .....	271
5.5.2 镍氢/镍镉电池快速充电器 .....	224	7.2.1 调制解调器的分类 .....	272
5.6 太阳能电池 .....	228	7.2.2 调制解调器的调制方式和工作 方式 .....	272
5.6.1 太阳能电池的原理与特性 .....	228	7.2.3 调制解调器的选型 .....	274
5.6.2 太阳能电池的组装方式 .....	229	7.2.4 RS-232 接口 .....	274
5.6.3 太阳能电池供电系统 .....	230	7.2.5 RS-422 和 RS-485 接口总线 .....	276
5.6.4 太阳能电池通信电源供电系统 .....	232	7.3 通信电源集中监控管理系统 .....	278
5.6.5 太阳能电池通信电源的控制电路 .....	235	7.3.1 智能开关电源监控模块 .....	279
本章小结 .....	236	7.3.2 MSS3000 多媒体集中监控系统 .....	281
习题 .....	237	7.3.3 监控系统实例——PSMS 动力设备与 环境集中监控系统 .....	287
<b>第 6 章 不间断电源 (UPS)</b> .....	238	本章小结 .....	289
6.1 概述 .....	238	习题 .....	290
6.1.1 UPS 的功能与分类 .....	238	<b>第 8 章 开关电源的设计</b> .....	291
6.1.2 UPS 的基本工作原理 .....	239	8.1 开关电源设计概述 .....	291
6.1.3 UPS 的发展趋势 .....	241	8.2 电源的热设计 .....	291
6.2 后备式 UPS .....	242	8.2.1 功率管和二极管的热设计 .....	291
6.2.1 后备式 UPS 充电电路 .....	242	8.2.2 变压器和电抗器的热设计 .....	294
6.2.2 后备式 UPS 逆变器电路 .....	243	8.3 开关电源主电路的设计 .....	295
6.2.3 后备式 UPS 交流稳压电路 .....	244	8.3.1 主电路的选型 .....	295
6.2.4 后备式 UPS 控制电路 .....	246	8.3.2 硬开关与软开关电路的选择 .....	296
6.2.5 脉宽调制电路 .....	251	8.3.3 正励型、推挽型、半桥型和全桥型 主电路元器件参数的设计计算 .....	296
6.3 在线式 UPS .....	253	8.3.4 开关电源主电路设计示例 .....	302
6.3.1 在线式 UPS 充电电路 .....	253		
6.3.2 在线式 UPS 逆变器 .....	254		

8.4 小功率开关电源设计示例 .....	306	8.4.5 控制电路主要元器件的选择 .....	310
8.4.1 设计技术要求 .....	306	8.5 开关电源课程设计课题 .....	311
8.4.2 设计分析 .....	306	<b>附录 A 电源电路抗干扰措施</b> .....	314
8.4.3 主电路变压器的设计 .....	306	<b>附录 B 常用元器件参数表</b> .....	327
8.4.4 主电路其他元器件的选择 .....	309	<b>参考文献</b> .....	336

# 第 1 章 电源技术概述及通信电源系统的组成

## 1.1 电源技术概述

### 1.1.1 电源的定义和电源技术的研究对象

电源是发出电能或变换电能可供人们使用的装置。电能的利用,是现代科学技术和社会进步的标志,现代社会的国民经济、上层建筑直至现代人的衣食住行都离不开电源,如文化娱乐、办公学习、科学研究、工农业生产、国防建设、教育、环境保护、医疗卫生、交通运输、照明、通信及宇宙探索,等等。

自然界并没有可以直接利用的电源。雷电等自然现象虽会产生出巨大的电能,但到目前为止还难以作为电源加以利用。因此,人类所使用的电源都是通过机械能、电能、化学能、核能等转换而来的。通常把这一类由其他能源经过转换而得到的电源称之为发出电能的电源,如发电机、电池等。绝大部分的电是由发电厂生产输送的,称为市电。

有的用电装置(器)如白炽灯、电炉、交流电动机等只要接通市电就能工作。而计算机、电视机、X光机等电子设备,虽然也用市电供电,但在这些电子设备中都装有电能变换处理电路(装置),将正弦波的交流市电转换成各自需要的直流电、高压电、脉冲电等。在无法提供市电的岛屿、车船上,可用蓄电池经过电能变换获得与市电一样的交流电,使计算机、仪器设备等正常工作。进入太空的卫星、飞行器,把太阳能收集起来,再经过电能变换,获得需要的各种电能以维持长期运行。电能是宝贵的资源,需要珍惜和节约。绿色照明的节能荧光灯、高光效 HID 灯的电子镇流器,是经过功率因数校正和高频化处理的电源装置,既省电又净化了电网;交流电动机的输入电源经过频率变换,即所谓变频调速使电动机运行能效更为合理。除水力发电、火力发电、核能发电外,太阳能、风力、沼气、潮汐、生物能、化学能等在特定的环境里,也用来发电,作为电力的补充。这些补充发电需要经过 DC/DC 和 DC/AC 电能变换使其便于储存,并转换成与电网频率一致的正弦波。电网不稳定会给用电设备带来许多麻烦,甚至无法正常工作;太阳、风力受季节和天气的影响,发出的电更是不稳,很多场合需要稳压供电,这也需进行电能变换和调整。电能变换是把一种形态的电能变换成另一种形态的电能,可以是交流电和直流电之间的变换,也可以是电压或电流幅值的变换,或是交流电的频率、相位等的变换。在有些场合下,电能变换可能仅仅是提高稳定精度或改善某些性能。电能变换情况下,电源输入的也是电能,这种输入和输出都是电能的电源称为变换电能的电源。这种电源是利用电能变换技术将市电或电池等一次电能转换成适合各种用电对象的二次电能的系统或装置。

上述电能变换主要体现在变压、调压整流、滤波、稳定、变换等方面,这些基本电能变换是通过一系列的技术方法实现的,并且这些方法分别适用于不同的环境条件和要求。从这一角度出发,电源技术是研究电能变换的技术。



### 1. 变压

变压器是交流变压最常用的装置,相位控制、线性补偿、频率变换、时间分割(脉冲宽度调制即 PWM)等都能实现交流变压。直流变压最常用的手段就是 DC/DC 变换,而无源和有源分压器是小功率直流变压常用的较简便的方法。

### 2. 调压

在变压的基础上加上步进和连续的设置就可实现调压。根据需要,可以是手动、自动或遥控调压。

### 3. 整流

整流是最早把交流电转换成直流电的方法。利用单向性的无源器件来实现整流最简单,利用有源开关的同步整流器能将整流器的损耗减到最小。

### 4. 滤波

滤波是将单向脉动电流变为平滑直流的过程,可以通过无源或有源滤波电路来实现。

### 5. 稳定

在电源装置上引入自动负反馈控制等方法,可使输出量保持稳定。若反馈量分别是电压、电流、功率、频率、相位,则相应获得稳压、稳流、恒功率、稳频、稳相的稳定电源。

### 6. 变换

变换的特定含义是一种状态转变到另一种状态。比如交流与直流之间的转换;正弦波、方波、三角波、梯形波、脉冲波、特种波等波形转换;光、热、机械、风、磁、理化等能量与电能之间的转换等。

电能变换涉及的技术非常多,常见的有参数稳压、线性反馈稳压、磁放大、数控调压、相控、变频、脉宽调制(PWM)、正弦脉宽调制(SPWM)、软开关脉宽调制、移相谐振、无功补偿、功率因数校正(PFC)、裂相、电流均分、传感采样、驱动保护、储能、充电、抗干扰和电磁兼容等。实际需求推动这些技术不断发展和进步,使电源装置能满足各种各样负载的不同要求。

电源技术发展到今天,融汇了电子、功率集成、自动控制、材料、传感、计算机、电磁兼容和热工等诸多技术领域的知识,已从多学科交叉的边沿学科发展为独树一帜的功率(电力)电子学。

电源技术又是实用性极强的技术,服务于各行各业各个领域的各式各样的负载,它们的性能特点以及采用的技术千差万别,所以电源技术的内涵极其丰富,本书仅研究介绍常用电子仪器设备所用电源及通信基础电源的相关技术。

## 1.1.2 电源的分类

通常把电源分为交流(AC)、直流(DC)两大类。因此,基本电力电子(变换)电路可分为四大类,即 AC/DC 电路、DC/AC 电路、AC/AC 电路、DC/DC 电路,电力电子电路的基本类型见表 1.1.1。

表 1.1.1 电力电子电路基本类型

变换方法 输入	输出	
	直流(DC)	交流(AC)
交流(AC)	整流	交流电力控制、变频、变相
直流(DC)	直流斩波	逆变

其中,AC/DC、DC/AC 电路比较容易理解。对于 AC/AC 电路,可变换的对象有频率、相位、电压和电流等。对于 DC/DC 电路可变换的主要对象是电压和电流。

对于直流电源而言,根据变换方式的不同,可分为线性稳压电源、开关电源和相控电源三类。

线性稳压电源结构简图如图 1.1.1 所示。其关键元器件是调整管 VT。

工作时,通过取样电路检测得到的输出电压变化信息  $\Delta U_o$ ,将其和基准电压  $U_{REF}$  进行比较,用其误差对调整管 VT 的基极电流进行负反馈控制。这样当输入电压  $U_1$  变化或负载变化引起电源输出电压  $U_o$  变化时,通过改变调整管 VT 的管压降  $U_{CE}$  使输出电压  $U_o$  稳定。为使 VT 能发挥足够的调节作用,功率电子器件 VT 必须工作在线性放大状态,且保持一定的管压降,线性稳压电源因此而命名。线性稳压电源已在电子技术基础课程中学习,本节不作详细介绍。

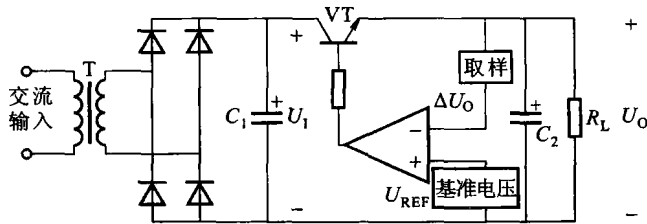


图 1.1.1 线性稳压电源结构简图

线性稳压电源能满足电子电路所需要的直流电压的高低要求和供电质量(精度、纹波等)的要求,但存在两大缺点:一是调整管 VT 工作在线性放大状态,损耗很大,电源效率很低;二是需用一个工频变压器 T,使整个电源体积大、重量重。

开关电源就是为了克服线性稳压电源的缺点而出现的,因其电力(功率)电子器件总是工作在开关状态而得名。其原理详见本书第 4 章。

相控电源是晶闸管相位控制电源的简称。其原理详见本书第 2 章。和开关电源相同,相控电源中的电力电子器件也是工作在开关状态,只是其工作频率是工频(50 Hz),而不是高频。相比之下,相控电源的一个显著优点是电路简单,控制方便。它的主要缺点也是要有工频变压器,使整个电源体积大、重量重。此外相控电源的直流输出电压纹波频率仅是工频的几倍(单相全桥控为 2 倍、三相全桥控为 6 倍),需较大的滤波器才有较好的滤波效果。而开关电源直流输出电压纹波频率很高,常在 20 kHz 以上,因此只需很小的滤波器即可。由于相控电源开关频率低,它对控制的响应速度也比开关电源慢。

按照习惯,开关电源专指电力(功率)电子器件工作在高频开关状态下的直流电源,因此亦称为高频开关电源,而相控电源不包括在开关电源之内。三种直流电源比较见表 1.1.2。

表 1.1.2 三种直流电源比较表

种类	器件工作状态	工作频率	体积	重量	效率	响应速度	输出纹波	应用范围
线性稳压电源	线性放大	零	大	重	低 (35% ~ 60%)	快	极小	对输出纹波和电磁干扰要求极严的场合
开关电源	开关状态	高	小	轻	高 (70% ~ 95%)	快	小	中小功率电路
相控电源	开关状态	低	大	重	较高 (70% 左右)	慢	大	大功率电路

就电源而言,除上述直流电源外,还有一大类是交流电源。例如,不间断电源(UPS)提供的恒频恒压(Constant Voltage Constant Frequency,缩写为CVCF)电源,变频器提供的变频电压(Variable Voltage Variable Frequency,缩写为VVVF)电源。它们的功率电子器件都工作在开关状态,工作频率也较高,也不包括在开关电源之内。不间断电源详见本书第6章。

电源种类繁多,除本书所介绍的相控电源、开关电源、不间断电源、化学电源和物理电源、基准源与程控电源以及已学的线性稳压电源外,还有磁放大交流稳压器、磁饱和稳压器、调压稳压器和变频器等,它们不属于本课程研究范围,有兴趣的读者,请参阅参考文献[3]。

### 1.1.3 | 电源技术的发展趋势

电源技术是随着电子技术及电子有源器件的发展而发展的,同时电源技术中需要解决的问题也推动了电子新器件和新技术的发展。

在大功率电源方面,早期主流产品是电动发电机组和硒整流器。我国从1963年开始研制晶闸管整流器,并较快取得了成果,于1967年形成系列产品并得到普遍应用,淘汰了电动发电机组和硒整流器。1965年开始研制逆变器及DC/DC变换器。

各种电子装置、电气控制设备的工作电源都是直流电源,在开关电源出现之前,这些装置的工作电源都采用线性稳压电源。由于计算机等电子装置的集成度不断增加,功能越来越强,而体积却越来越小,因此,迫切需要体积小、重量轻、效率高、性能好的新型电源,这就成了开关电源技术发展的强大动力。

新型电力电子器件的发展给开关电源的发展提供了物质条件。20世纪60年代,垂直导电的高耐压、大电流的双极型电力晶体管GTR的出现,使得高工作频率的开关电源得以问世,那时确定的开关电源基本结构一直沿用至今。

开关电源的体积、重量、效率均与开关频率有关。早期开关频率仅为数千赫,随着开关器件和磁性材料性能的不断改进,开关频率逐步提高,在20世纪70年代,开关频率终于突破人耳听觉极限20kHz,这一变化被称之为“20kHz革命”。后来随着电力(功率)MOSFET的应用,开关电源的频率进一步提高。

作为电子装置的工作电源,线性稳压电源主要用于小功率范围。在 20 世纪 80 年代以前,作为线性电源的更新换代产品的开关电源也主要用于小功率场合,而当时中大功率直流电源仍以晶闸管相控整流电源为主。但从 20 世纪 80 年代起,绝缘栅双极晶体管 IGBT 的出现,打破了这一格局。其原理参阅本书 4.2.1 节。IGBT 属于电压驱动型器件,因其优点突出且无明显缺点而迅速替代了 GTR,成为中功率范围的主流器件,并不断向大功率方向拓展其应用空间。

以通信领域为例,早期 48 V 基准电源几乎都是采用晶闸管相控电源,现在已逐步被开关电源所取代。对电力系统操作所用的直流电源而言,开关电源也逐渐取代晶闸管相控电源而成为主流电源。此外,电焊机、电镀装置等传统晶闸管相控电源的应用范围也逐步被开关电源所占领。

此外,随着开关频率的提高,电磁干扰问题凸现出来。为解决这一问题,20 世纪 80 年代,出现了采用准谐振技术的零电压开关电路和零电流开关电路,称之为软开关技术。在理想情况下,采用软开关技术可达到零开关损耗,提高效率,同时电磁干扰大大减小,使电源进一步向体积小、重量轻、效率高、功率密度大的方向发展。软开关技术经过近 20 年的发展,至今仍在研究中。

为了降低开关电源对电网的谐波污染,提高开关电源功率因数,在 20 世纪 90 年代,出现了功率因数校正技术 PFC,并在各种开关电源中大量应用。目前单相 PFC 技术已较成熟,而三相 PFC 技术处于起步阶段。

纵观电源技术发展历史与现状,电源技术向着以下方向发展:

### 1. 绿色化

电源技术也是一把双刃剑,它在为人类造福的同时也会破坏人类的生存环境。我国能源利用效率较低,电污染严重。电污染主要指电力系统的“瞬流”和“浪涌”使交流正弦波产生毛刺。电污染会造成电能的浪费,经有关专家研究表明:要节电必须解决电网污染问题。据估计,我国每年浪费的电价值为 800 亿元人民币。通过消除电污染,电耗可降低 10%~20%。为消除电污染,有关国际组织和部门已制定了一系列相应的标准和法规并强制执行。绿色化成为电源技术发展的方向。

所谓绿色电源,是指高效节能、与周围环境协调相容的电源。它有几重含义:① 节约能源,保护环境(采用开关变换技术和软开关技术);② 高效率利用能源(采用功率因数校正技术和谐波抑制技术);③ 功率电磁兼容,减小电源对环境的电磁污染(采用功率电磁兼容技术);④ 电源与负载匹配;⑤ 电源管理智能化。

绿色化的观念使电源设备的应用发生变化,例如,目前普遍采用的传统节电设备变频器,在美国正在被逐渐淘汰。对安装了变频器的机器而言,耗电的确比以前少,但从整体来看,因变频器引起的电污染并未消除,依然造成电力浪费。

### 2. 高频化

随着开关电源的诞生,其输出电压的控制完全由时间比例控制(TRC)取代以前的相控和铁磁谐振控制等方式。如前所述,开关频率的提高与开关电源的性能指标有直接关系,高频化成为开关电源的发展方向。

### 3. 集成化、模块化、小型化

从 20 世纪 80 年代中后期开始,在电力电子器件的研制和开发中,一个共同的趋势是模块

化。即按照典型电力电子电路所需要的电路结构,将多个电力电子器件封装在一个模块中,以缩小体积,简化布局、布线,降低成本,提高可靠性。更重要的是对工作频率高的电路,可大大减小分布电感,从而简化对保护和缓冲电路的要求。这种模块称为功率模块(Power Module,缩写为PM)。

如把 IGBT 及其辅助元件以及驱动和保护电路集成在一起,则构成目前广泛应用的智能功率模块(Intelligent Power Module,缩写为 IPM)。采用 IPM 设计制造电源可进一步简化系统硬件电路,减小体积,提高可靠性。

如果更进一步,将电力电子器件与逻辑、控制等信息电子电路制作在同一芯片上,则称为功率集成电路(Power Integrated Circuit,缩写为 PIC)。PIC 分为两类:一类是高压集成电路,简称 HVIC(High Voltage IC),它是高压电力电子器件与逻辑或模拟控制电路的单片集成;另一类是智能功率模块,简称 SPIC(Smart Power IC),它是电力电子器件与控制、保护电路以及传感器等电路的多功能组成。

本书 4.9 节所介绍的单片开关电源已形成 6 大系列、67 种型号的产品。

新型开关电源模块则是采用微电子技术和先进的制造工艺,把开关电源专用集成电路与微型元器件组成一体,完成 AC/DC 电源变换功能的商品化部件。因其结构特征是将全部集成电路密集安装在印制电路板上再加封装而成,故称为“二次集成”。由于具有显著的优点,新型开关电源得到广泛应用。详见本书 4.10 节。

目前厚膜集成的电源模块、积木式的功能模块得到广泛应用,它们灵活机动,消除了器件和整机的界限,既能单独使用,又能相互组合成较大的电源系统。电源电路模块化成为电源技术发展的方向。

模块化的主要功效就是小型化。尤其是航空、航天等电子设备要求电压体积小、重量轻、高可靠性,必须实现集成化、小型化。

#### 4. 智能化与集中监控

随着微电子技术和计算机技术的快速发展,电源技术逐渐走向智能化。在电源模块中包含有 CPU。通常高频开关电源系统均设有监控模块,实行智能化管理,其管理容量、内容、智能化程度都日趋完善。大规模电源系统如通信电源系统实行“遥信”、“遥测”和“遥控”。目前,通信电源系统由集中供电向分散供电、集中监控方向发展。集中监控就是智能化管理。监控系统的硬件、软件平台开发环境日趋成熟。

## 1.2 | 现代通信电源系统的组成

### 1.2.1 | 通信设备对电源系统的要求及通信电源的分类

#### 1. 通信电源的基本要求

通信电源通常称为通信设备的“心脏”,在通信设备中具有不可比拟的重要地位。随着通信事业飞速发展,通信设备不断更新,对通信电源的要求也越来越高。

通信系统和设备对电源系统的基本要求是:可靠、稳定、小型化、高效率。

#### (1) 可靠

电源系统的可靠性是确保通信畅通的前提。通常电源系统要给整个系统许多设备供电,电源系统一旦发生故障,会对通信造成影响。尤其是重要通信枢纽,一旦电源中断,将造成重大的经济损失和极坏的社会影响。

为确保可靠供电,由交流电源供电的通信设备都采用交流不间断电源(UPS)。在直流供电系统中,应采用整流器与电池并联浮充供电方式。为提高可靠性,较先进的开关整流器采用多只整流模块并联工作的方法,且加入具有自动测试、报警、控制功能的监控模块。当一个模块发生故障时不会影响供电。目前,先进的通信电源设备平均无故障时间可达20年。

### (2) 稳定

各种通信设备都要求电源稳定,不允许超过变化范围。电源电压过高,会损坏通信中的电子元器件;电源电压过低,会导致通信设备不能正常工作。此外,直流电源电压中的脉动噪声也必须低于允许值,否则,会严重影响通信质量。

### (3) 小型化

随着微电子技术、集成电路的迅速发展和应用,通信设备向小型化、集成化方向发展。为此,电源系统也必须实行小型化、集成化。各种移动通信设备、航空航天通信设备更要求其电源设备体积小、重量轻。为减小电源装置的体积和重量,各种集成稳压器、无工频变压器的开关电源应用日益广泛。近年来,国外通信设备大量采用工作频率达几百千赫且体积很小的谐振型开关电源。

### (4) 高效率

随着通信事业迅速发展,通信系统的用电量日益增大。为节约电能,必须采取措施提高电源系统和装置的效率。这是行业效益和缓解我国能源紧张状况所必需的。

节能的主要措施有:

① 采用高效率的通信电源设备。过去,通信设备采用效率低于70%的相控型整流器,而目前采用PWM型开关电源,效率可达到80%以上,谐振型开关电源效率可达90%以上。

② 采用分散供电系统。大型通信局(站)所需总电流可达5 000~6 000 A,直流汇流条允许压降为2 V,因此,汇流条每年耗电量将达 $10^5$  kW·h。采用集中供电系统将造成巨大能耗。为节约电能,应尽量采用分散供电系统。

③ 采用自然能。有些通信设备(如微波中继通信设备)和光缆干线的无人值守站,采用太阳能或风力发电设备。

## 2. 通信电源的基本分类

通信电源可分为基础电源和机架电源两大类。

### (1) 基础电源

基础电源也称一次电源。通信局(站)的基础电源又分为交流基础电源和直流基础电源。

1) 交流基础电源 市电、备用油机发电机组(含移动电站)、通信逆变器(或不间断电源UPS)提供的低压交流电源称为通信局(站)的交流基础电源。低压交流基础电源的额定电压为220 V或380 V(三相五线制),额定频率为50 Hz。通信设备直接由交流基础电源供电时,输入电压允许变化范围为额定电压的+5%~ -10%。通信整流设备由交流基础电源供电时,输入交流电压允许变化范围为额定电压的+10%~ -15%。

在供电过程中,若电网电压或发电机组的电压变化范围超出通信设备或整流设备的允许变

化范围时,应采用交流调压器或交流稳压器,以保证输入交流电压符合要求。

低压交流电源的频率变化范围应在额定值的  $\pm 4\%$  以内,电压波形正弦畸变率应不大于  $5\%$ 。

2) 直流基础电源 为各类通信设备、通信逆变器和直流变换器提供直流电压的电源,称为直流基础电源。

通信局(站)直流基础电源的额定电压为  $-48\text{V}$ 。该直流基础电源的蓄电池组通常由 24 只铅酸蓄电池组成,充电过程中,电池组电压将在  $-51.6 \sim -55\text{V}$  之间变化。放电过程中,电池组电压将低于  $-48\text{V}$  的额定电压,考虑到电池室至通信机房机架间的直流馈电线的压降,通信机房每个机架的直流输入电压允许变化范围为  $-40 \sim -57\text{V}$ 。

$-48\text{V}$  直流基础电源端的各种噪声电压如下:

电话衡量噪声电压:  $\leq 2\text{mV}$  (300 ~ 3 400 Hz)

峰峰值噪声电压:  $\leq 200\text{mV}$

宽频噪声电压:  $\leq 100\text{mV}$  (3.4 ~ 150 kHz)

$\leq 30\text{mV}$  (550 kHz ~ 30 MHz)

离散频率噪声电压:  $\leq 5\text{mV}$  (3.4 ~ 150kHz)

$\leq 3\text{mV}$  (150 ~ 200 kHz)

$\leq 2\text{mV}$  (200 ~ 500 kHz)

$\leq 1\text{mV}$  (500 kHz ~ 30 MHz)

(2) 机架电源

机架电源又称二次电源。由于各种专用集成电路在通信设备中大量应用,需要用到  $3.3\text{V}$ 、 $5\text{V}$ 、 $12\text{V}$  等低压电源供电。为降低一次电源要求、节约费用、减小维护工作量,目前各类通信设备中装有直流变换器,把  $-48\text{V}$  直流电压变换为工作所需要的  $3.3\text{V}$ 、 $5\text{V}$ 、 $12\text{V}$  等电压。为提高供电可靠性,常采用几台直流变换器并联供电。

此外,许多通信设备内还装有振铃电源,将  $-48\text{V}$  电压变换成振铃所需要的交流电压。

## 1.2.2 | 集中供电方式电源系统的组成

采用集中供电方式电源系统的组成框图如图 1.2.1 所示。该系统由交流供电系统、直流供电系统、接地系统和集中监控系统等组成。

### 1. 交流供电系统

通信电源的交流供电系统包括变电站、油机发电机、通信逆变器和交流不间断电源(UPS)。电信局一般都由高压电网供电。为提高供电可靠性,重要通信枢纽从两个变电站引入两路高压电源,一路主用,另一路备用。

电信局内通常设有降压变电室,室内装有降压变压器和高、低压配电屏,通过这些设备把高压电源(一般为  $10\text{kV}$ )变为低压电源(三相  $380\text{V}$ ),供整流设备和照明设备、空调装置等附属设备使用。

在高层通信大楼中,为缩短低电供电线路,降压变电站可设在主楼内。此时,电力变压器应选用干式变压器,配电设备中的高压开关应选用室内高压真空断路器。

为保证不间断供电,电信局内一般配有自动油机发电机组。当市电中断时,油机发电机自动

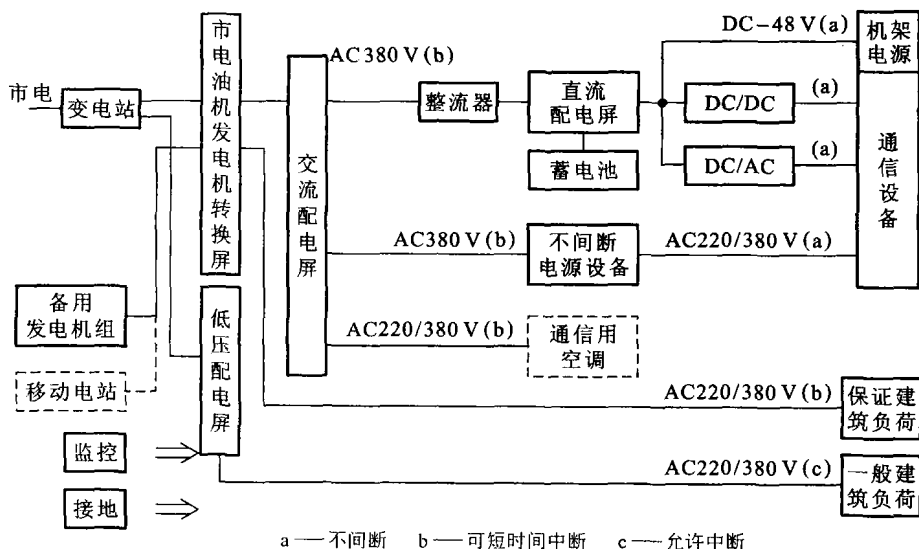


图 1.2.1 集中供电方式电源系统组成

起动。因自备发电成本高于市电，在有市电的情况下都应由市电供电。

市电和油机发电机的转换由低压交流配电屏完成。低压交流配电屏还要将低压交流电分别送至整流器、照明设备和空调装置。此外它还具有监测、报警功能，能监测交流电压和电流的变化，当市电中断或电压发生较大变化时，能自动发出报警信号。

为确保通信电源不中断、无瞬变，近年来，在卫星通信地球站等通信系统中，已开始采用交流不间断电源。不间断电源系统一般由蓄电池、整流器、逆变器、DC/AC 变换器和静态开关等部分组成。市电正常时，市电经整流和逆变后给通信设备供电，此时，蓄电池处于浮充状态。市电中断时，蓄电池通过逆变器给通信设备供电。逆变器和市电的转换由交流静态开关完成。

交流供电系统还要给通信局（站）内一般建筑负荷和保证建筑负荷供电。保证建筑负荷包括通信用空调设备、通信机房保证照明灯具、消防电梯和消防水泵等。一般建筑负荷包括非通信用空调设备、一般照明灯具和备用发电机组不保证供电的其他负荷。

## 2. 直流供电系统

直流供电系统由整流器、蓄电池、直流变换器（DC/DC）和直流配电屏等部分组成。整流器的交流电源由交流配电屏引入，整流器的输出端通过直流配电屏与蓄电池和负载相连接。当通信设备需要多种不同数值直流电压时，可采用直流变换器将基础电源的电压变换为所需要的电压。因直流供电系统中设置了蓄电池组，可保证不间断供电。

目前，直流供电系统广泛采用并联浮充方式供电。

并联浮充方式原理结构如图 1.2.2 所示。其中整流器与蓄电池组并联后对通信设备供电。市电正常时，整流器一方面给通信设备供电，同时又给蓄电池充电，以补充蓄电池因局部放电而失去的电量。在浮充工作状态下，蓄电池还能起一定的滤波作用。市电中断时，蓄电池单独给通信设备供电。由于蓄电池通常处于足电状态，市电短期中断时，可由蓄电池保证不间断供电。若市电中断时间过长，整流器应由油机发电机组供电。并联浮充供电方式的优点是结构简单，工作



可靠,供电效率也较高。但也存在负载电压变化大的缺点,这是由于浮充工作状态下输出电压较高,而蓄电池单独供电时输出电压较低造成的。近年生产的许多通信设备直流电源允许变化范围很宽(36 ~ 72 V),所以通常不需要采用蓄电池或硅管降压供电方式。

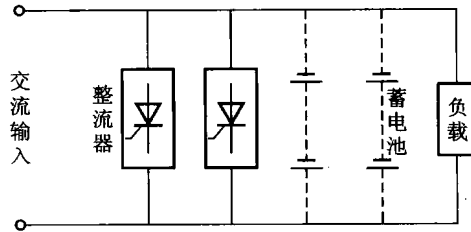


图 1.2.2 并联浮充供电方式

### 3. 接地系统

为提高通信质量,确保通信设备和人身安全,通信电源的交流、直流供电系统都必须有良好的接地装置。

#### (1) 交流工作接地

电信局一般都由三相交流电源供电。为避免因三相负载不平衡而使各相电压差别过大,三相电源的中性点(如三相变压器和三相交流发电机的中性点)均应直接接地,这种接地称为交流工作接地。接地线一般称为中性线。接地装置与大地之间的电阻称为接地电阻。变压器容量在  $100 \text{ kV} \cdot \text{A}$  以下时,接地电阻应不大于  $10 \Omega$ ;变压器容量在  $100 \text{ kV} \cdot \text{A}$  以上时,接地电阻应不大于  $4 \Omega$ 。

#### (2) 直流工作接地

在直流供电系统中,由于通信设备的需要,蓄电池的正极必须接地,这种接地通常称为直流工作接地。此外,在直流供电系统中,还常常埋设一组供测量用的测量接地装置。

#### (3) 保护接地和防雷接地

为避免电源设备的金属外壳因绝缘破坏而带电,与带电部分绝缘的金属外壳必须直接接地。这种接地称为保护接地。保护接地的接地电阻应不大于  $10 \Omega$ 。

为防止因雷电产生的过电压损坏电源设备,通信电源系统中的避雷器应设有防雷接地装置。这种装置的接地电阻一般应在  $10 \sim 20 \Omega$  之间。当电网遭受雷击时,防雷地线中的瞬时电流很大,在地线上将产生很高的压降。

#### (4) 联合接地

各类通信设备的交流工作接地、直流工作接地、保护接地和防雷接地共用一组接地线的接地方式,称为联合接地方式。这种接地方式具有良好的防雷和抗干扰作用。

联合接地方式由接地体、接地引入线、接地汇集线和接地线组成,如图 1.2.3 所示。

接地体又称为接地电极或地网。它与土壤形成电气接触,可将各地线中的电流汇入大地。接地体由建筑物混凝土内的钢筋和建筑物四周敷设的环形接地电极组成。

接地体与接地总汇集之间的连线称为接地引入线。为延长使用寿命,接地引入线应作防腐