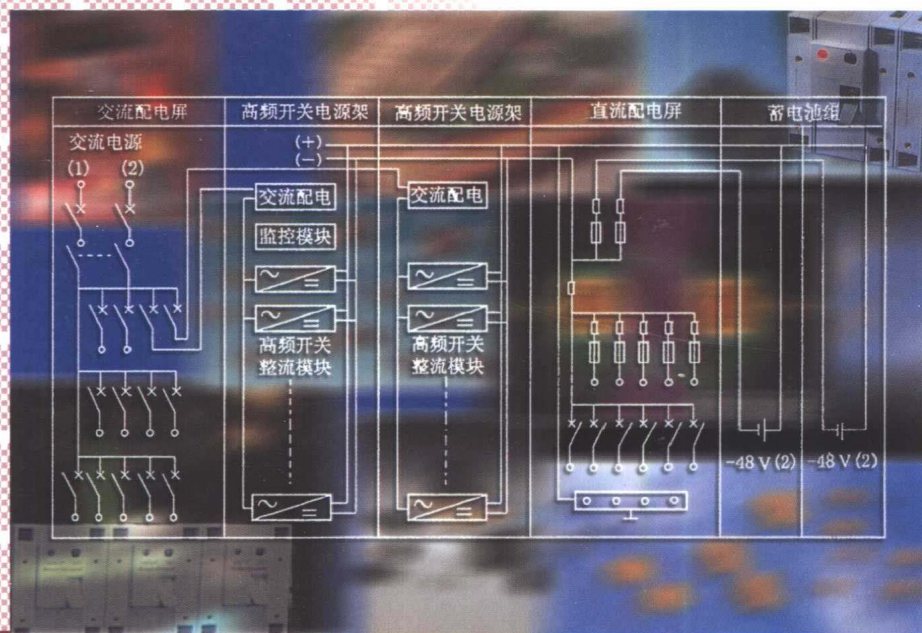


实用电源技术丛书

现代通信基础开关电源的原理和设计

李爱文 编著



科学出版社

实用电源技术丛书

现代通信基础开关电源的 原理和设计

李爱文 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

现代通信设备已开始广泛地采用开关式基础电源系统。这种电源系统是开关式稳压电源的一种,它的设计具有特殊的内容和方法。本书内容力求少讲原理,多讲设计方法,所讲的基本知识和原理也都是设计时所必需的。书中主要介绍以下几方面的内容:现代通信开关电源的发展现状、系统结构和配电设计;现代通信设备对开关电源系统的要求和设计指标;开关电源整流模块的主电路设计;主电路所用器件和材料的性能和应用;通信开关电源整流模块的控制技术设计;输出电压杂音抑制技术和电磁兼容性设计;输入整流滤波和功率因数校正电路设计;现代通信开关电源的计算机监控系统和基础开关电源整流模块的设计实例。

本书可供从事通信开关电源系统的研究、设计和维护的工程技术人员使用,也是高等学校电力电子、通信和电源等专业的本、专科学生和研究生,以及有关教师理想的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信基础开关电源的原理和设计/李爱文编著. 北京:科学出版社, 2001

(实用电源技术丛书)

ISBN 7-03-009060-8

I. 现… I. 李… III. ①通信设备-开关-电源-理论 ②通信设备-开关-电源-设计 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 85288 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 5 月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—3 000 字数:387 000

定价:31.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

《实用电源技术丛书》编辑委员会

顾问：蔡宣三 丁道宏
主任：倪本来
副主任：张建荣 侯振程
委员：马传添 马鹤亭 区键昌 刘凤君 庄蓄田
李厚福 李朔生 李宗光 陈 坚 严仰光
张 立 张广明 张志国 张 嵘 张承志
张占松 张卫平 陆 鸣 段军政 季幼章
周庭光 赵良炳 赵修科 徐德高 徐会明
徐泽玮 徐德鸿 徐兰筠 袁维慈 黄济青
龚绍文 喻 翔 谭 信

序 言

什么是电源？很难用一句话概括。但是，现代人谁能离得开电源？衣食住行离不开电源，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、通讯、宇宙探索等等，哪一样能少得了电源？只要用电就离不了电源。绝大部分的电是由发电厂生产发送的，称为市电。白炽灯、电炉、交流电动机等只要接通市电就行；计算机、电视机、X光机等虽然也是打开开关就能工作，但是这些机器里面都已经做了电能变换处理，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；在无法提供市电的岛屿、车船上，可以用蓄电池经过电能变换获得跟市电一样的交流电，让计算机、仪器设备等工作起来；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来维持长期运行。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、高光效的HID灯电子镇流器，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；交流电动机经过频率变换即所谓变频调速实现了电动机科学运转及电能的合理使用。水力发电、火力发电、核电站是电的主要来源；太阳光、风力、沼气、潮汐、生物能、化学能等等在特定环境里也能发电，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。电网不稳定给用电设备带来许多麻烦，甚至无法正常工作；太阳、风力受四季和天气影响，发出的电更是不稳，很多场合需要稳压供电，这有赖于电能变换加以调整。总括起来，所谓电源乃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。而这些基本的电能变换是通过一系列的技术方法实现的，并且这些技术方法分别适用于不同的环境条件和要求。

变压：变压器是交流变压最常用的装置，相位控制也能完成交流变压，线性补偿、频率变换、时间分割（脉冲宽度调制，即著名的PWM）等都能实现变压。直流变压最常用的手段就是DC/DC变换，无源和有源分压器是小功率直流变压较简便的方法。

调压：在变压的基础上加以步进和连续的设置就成为调压。根据需要可以手动、自动或遥控。

整流：整流是最早使交流电转换成直流电的方法。利用单相性的无源器件来实现则最简单，利用有源开关的同步整流器能将整流器的损耗减至极小。

滤波：为获得平滑的直流，可以通过无源或有源的滤波电路来实现。

稳定：将变压或调压引入自动负反馈控制，就能使之稳定。若反馈量分别是电压、电流、功率、频率、相位，则响应获得稳压、稳流、恒功率、稳频、稳相的稳定电源。

变换：变换的特定含义是由一种状态转变到另一种状态。比如交流-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；低频-高频转换；光、热、机械、风、磁、理化等能量与电能之间的转换。

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、磁放大器技术、数控调压技术、相控技术、变频、PWM、SPWM、软开关PWM、移相谐振、无功补偿、功率因数校正、裂相、电流均分、传感采样、驱动保护、储能、充电、抗干扰、电磁兼容等等。实际需要推动这些技术不断发展和进步,使电源装置能满足负载各种各样的需求。

造就这些电源装置还需要专用的元器件和材料。电能变换用到的器材有功率开关器件、专用的集成电路、软磁材料以及外围元器件等。由于很多电源装置结构相当复杂,为简化设计而出现的集功率开关、变换控制电路、传感保护电路为一体的智能功率集成模块受到欢迎。

厚膜集成的电源模块、积木式的功能模块,灵活机动,既能单独使用,又能相互组合成较大的电源系统。在这里器件和整机的界限已相当模糊。

不同的负载要求不同的电源装置,万能的电源至少今天还未出现。一个特定用途的电源装置,应当具有符合负载要求的性能参数和外特性,这是基本的要求。安全可靠是必须加以保证的。高效率、高功率因数、低噪音是普遍关注的品质。无电网污染、无电磁干扰、省电节能等绿色指标是全球范围的热门话题,并有相关的国际和国家标准规范进行约束。有时特定的使用环境又要求电源具备一些额外的适应性能力,比如耐高温、耐高寒、耐高湿、抗辐射、抗振动、防爆、体积小、重量轻、智能化等。

电源技术发展到今天,已融会了电子、功率集成、自动控制、材料、传感、计算机、电磁兼容、热工等诸多技术领域的精华,已从多学科交叉的边沿学科成长为独树一帜的功率电子学。

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方法千差万别,这就造就了电源技术的丰富内涵。

由中国电源学会和科学出版社联合组织出版的《实用电源技术丛书》将展示多彩的电源世界,帮助读者全面了解当今电源的方方面面,并希望读者能从这套丛书中获得启示,在实际工作中找到最佳的电源方案。为此,丛书的选题力求从实际需要出发,内容突出实用性、新颖性和广泛性,写作侧重于原理阐述、实例解剖和经验介绍。我们将尽力让《实用电源技术丛书》成为广大读者的良师益友,但是,电源技术浩如烟海,有限的书目实难尽述。另外,电源的新技术不断涌现,且成长周期相当短,作者的实践有限,谬误之处在所难免,敬请读者指正。

《实用电源技术丛书》编辑委员会

前 言

高频开关电源系统具有体积小、重量轻、高效节能、输出纹波小、输出杂音电压小和动态响应性能好等很多优点,现已开始逐步地取代整流式电源而成为现代通信设备的新型基础电源系统。随着电子技术、电力电子技术、自动控制技术和计算机控制技术的发展,高频开关电源系统的性能也越来越好。通信用基础开关电源系统作为开关式稳压电源的一种形式,它的设计内容和设计方法都具有自己的特殊性。

近年来,关于通信用基础开关电源系统某些内容的设计虽在不少文献资料中有所介绍,但都不够全面和系统。要设计一套通信用基础开关电源系统,首先要明白对它的全面要求,然后再设计系统的各个部分。高频开关电源主回路和控制回路所用的电路形式、元器件、控制方式都发展很快。设计通信用基础开关电源整流模块要综合考虑其电气性能、可靠性、成本和先进性,优化其主回路和控制回路及其各个部分的设计。作者总结了近年来国内外新的研究成果和多年的设计经验,力求少讲原理,多讲设计方法,所讲的基本知识和原理也都是设计时所必需的。本书主要论述以下几方面内容:

- (1)现代通信开关电源的发展、系统结构和配电设计;
- (2)现代通信设备对开关电源系统的要求和设计指标;
- (3)开关电源整流模块主电路各个部分的设计;
- (4)开关电源主电路所用器件、材料的性能和应用;
- (5)通信开关电源整流模块的控制技术设计;
- (6)直流输出电压杂音抑制技术和电磁兼容性(EMC)设计;
- (7)输入整流滤波和功率因数校正(PFC)电路设计;
- (8)现代通信开关电源系统的计算机监控系统设计;
- (9)典型通信开关电源整流模块的设计实例。

本书由山东大学李爱文副教授编著,参与部分章节初稿编写的还有陈仁富、尹海、李思海、张光先、周常森副教授、张承慧教授、路京利工程师和任自力工程师。

本书由中国电源学会倪本来教授主审。

在本书的编写过程中,得到了北京富来电能设备公司和山东奥太技术开发公司的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者不吝赐教和批评指正。

作 者

2000年5月

目 录

第一章 现代通信开关电源的系统结构和配电设计	1
1.1 我国通信事业和通信基础电源的发展概况	1
1.1.1 我国通信事业的发展概况	1
1.1.2 现代通信设备供电系统的组成	1
1.1.3 现代通信设备基础电源系统的发展概况	3
1.2 现代通信基础开关电源系统的概述	5
1.2.1 通信用高频开关电源的特点	5
1.2.2 现代通信基础开关电源系统的组成结构	7
1.2.3 现代通信基础开关电源系统的规格和型号	9
1.3 通信基础开关电源系统中的交、直流配电设计	11
1.3.1 交流配电单元和配电柜	11
1.3.2 直流配电单元和配电柜	13
1.4 开关电源整流柜和整流模块	14
1.4.1 开关电源整流柜	15
1.4.2 开关电源整流模块	16
第二章 现代通信设备对开关电源系统的要求	18
2.1 概述	18
2.1.1 典型通信设备对基础电源系统的要求	18
2.1.2 现代通信基础开关电源系统的设计指标和标准	19
2.2 基础开关电源系统的使用和操作性能	21
2.2.1 控制、操作和指示性能	21
2.2.2 电网电压适应能力	21
2.2.3 直流输出电压的调节范围	22
2.2.4 保护和告警功能	23
2.2.5 并联运行均分负载的性能	24
2.3 开关电源整流模块的电气性能要求	25
2.3.1 整流模块的产品系列	25
2.3.2 输出电压的杂音	26
2.3.3 效率和功率因数	27
2.3.4 动态响应和稳压精度	28
2.3.5 绝缘电阻和绝缘强度	29
2.3.6 软启动和可靠性预计指标	30
2.4 通信设备对开关电源系统其它性能的要求	30
2.4.1 需要适应的环境条件	30
2.4.2 防雷、干扰和音响噪音	31

2.4.3	开关电源系统的外观	32
第三章	通信开关电源整流模块的主电路设计	33
3.1	逆变开关电路的形式	33
3.1.1	逆变开关电路拓扑结构的类型	33
3.1.2	各种逆变电路的性能分析和对比	36
3.1.3	功率变换电路的不平衡问题	38
3.2	功率变换方式的发展和应用	41
3.2.1	现代功率变换技术的分类和发展	42
3.2.2	负载谐振 PFM 变换技术	43
3.2.3	硬开关 PWM 变换技术	46
3.3	部分谐振软开关功率变换技术	48
3.3.1	双零开关功率变换技术	48
3.3.2	双零转换功率变换技术	52
3.3.3	ZVT-PWM 变换技术的典型应用	57
3.4	通信开关电源整流模块的主电路结构和基本设计步骤	62
3.4.1	整流模块的电路结构	62
3.4.2	整流模块的基本设计步骤	63
3.4.3	整流模块逆变开关电路的选择	64
3.4.4	整流模块功率变换方式的选择	66
3.5	通信开关电源逆变变压器的设计	68
3.5.1	逆变变压器的设计原则和依据	68
3.5.2	逆变变压器的设计方法和步骤	70
3.5.3	变压器绕制中的几个问题	75
3.5.4	单端反激式开关电源变压器的设计	78
3.6	整流模块输出整流电路的设计	81
3.6.1	基本整流电路	81
3.6.2	新型整流电路	82
3.7	整流模块输出滤波电路和滤波电抗器的设计	85
3.7.1	开关电源输出滤波电路的形式和应用	85
3.7.2	整流模块滤波电路的参数设计	86
3.7.3	输出滤波电抗器的结构设计	87
第四章	主电路器件和材料的性能和应用	91
4.1	主电路开关器件的类型和参数	91
4.1.1	通信开关电源用电力电子开关器件	91
4.1.2	功率场效应晶体管的基本性能	93
4.1.3	绝缘栅双极晶体管(IGBT)的基本性能	99
4.2	VMOSFET 和 IGBT 的应用	104
4.2.1	VMOSFET 的应用问题	104
4.2.2	IGBT 的主要参数及定额选择	106
4.2.3	IGBT 的驱动和保护	108

4.3	整流器件的类型和选择	112
4.3.1	不控整流器件的类型和选择	112
4.3.2	可控整流器件的类型和选择	116
4.4	铁芯和绝缘材料的性能和应用	117
4.4.1	铁芯材料的类型和性能对比	117
4.4.2	通信开关电源整流模块所用的铁芯材料	119
4.4.3	绝缘材料的性能和应用	126
4.5	滤波电容器的类型和应用	127
4.5.1	滤波电容器的分类和特性	127
4.5.2	滤波电容器的主要参数	130
4.5.3	滤波电容器的应用	132
4.6	整流模块的散热技术设计	135
4.6.1	整流模块的散热方式	135
4.6.2	功率器件发热损耗的计算方法	136
4.6.3	整流模块散热器的选择	137
第五章	通信开关电源整流模块的控制技术设计	141
5.1	开关电源整流模块控制系统的设计	141
5.1.1	整流模块控制系统的结构和性能指标	141
5.1.2	整流模块控制系统的稳定性及设计	143
5.1.3	整流模块控制系统的调节器和校正环节	146
5.2	控制技术的方案选择与设计	149
5.2.1	控制技术设计的内容和时间比例控制方式	149
5.2.2	电压型控制和电流型控制	150
5.3	集成控制芯片的分类和硬开关 PWM 集成控制芯片	156
5.3.1	功率变换集成控制芯片的分类	156
5.3.2	电压型硬开关 PWM 集成控制芯片	156
5.3.3	电流型硬开关 PWM 集成控制芯片	160
5.4	软开关 PWM 集成控制芯片	164
5.4.1	移相全桥 ZVT-PWM 集成控制芯片	164
5.4.2	单端有源箝位/复位 ZVT-PWM 集成控制芯片	168
5.4.3	谐振开关变换集成控制芯片	169
5.5	控制、操作、保护告警功能和电路设计	174
5.5.1	电源模块的控制、操作功能和电路设计	174
5.5.2	通信开关电源系统和整流模块的检测功能	177
5.5.3	电源模块的保护、告警功能的电路设计	179
5.6	并联运行均分负载的控制技术	181
5.6.1	并联运行均流控制技术的分类、原理和设计	181
5.6.2	并联均流集成控制芯片 UC 3907 及其应用	183
5.7	合闸冲击电流限制和软启动电路的设计	186
5.7.1	通信开关电源整流模块的合闸控制和软启动问题	186

5.7.2	合闸控制和软启动电路的设计	186
第六章	整流模块直流输出电压杂音的抑制和电磁兼容性设计	189
6.1	直流输出电压杂音和电磁干扰概述	189
6.1.1	电磁干扰和电压杂音的基本概念及其关系	189
6.1.2	直流输出电压杂音的分类和测量方法	190
6.1.3	电压杂音产生的原因	192
6.2	输出电压杂音的抑制措施	193
6.2.1	输入工频纹波引起的电压杂音的抑制措施	194
6.2.2	开关频率输出纹波的抑制措施	195
6.2.3	高频振荡输出杂音的抑制措施	195
6.3	通信开关电源电磁干扰的抑制措施	197
6.3.1	通信开关电源电磁干扰(EMI)的传播	197
6.3.2	电磁干扰抑制的内容、元器件和材料	198
6.4	电磁兼容性的概念、标准和设计	201
6.4.1	电磁兼容性(EMC)及其标准	201
6.4.2	整体结构布局和布线的 EMC 设计	203
第七章	输入整流滤波和功率因数校正电路设计	207
7.1	输入整流电路的形式和功率因数	207
7.1.1	输入整流电路的形式	207
7.1.2	功率因数的概念和谐波的危害性	209
7.2	无源输入滤波和功率因数校正技术设计	209
7.2.1	无源输入滤波和功率因数校正(PFC)的原理	209
7.2.2	无源功率因数校正 LC 滤波参数的设计	210
7.3	高频有源输入滤波与功率因数校正技术	211
7.3.1	高频有源输入滤波与功率因数校正的基本原理	211
7.3.2	高频有源输入滤波与功率因数校正电路的设计	213
7.4	高频有源 PFC 集成控制芯片及其应用	214
7.4.1	高频有源 PFC 集成控制芯片的结构和特性	214
7.4.2	高频有源 PFC 集成控制芯片的应用	216
第八章	现代通信开关电源系统的计算机监控系统	221
8.1	现代通信开关电源系统的计算机监控系统	221
8.1.1	现代通信设备集中监控系统的组成	221
8.1.2	现代通信电源设备集中监控系统的内容	222
8.1.3	通信电源集中监控系统的组成和功能实现	224
8.1.4	通信电源集中监控系统的性能及其改善	226
8.2	通信开关电源系统的集中监控模块	227
8.2.1	集中监控模块的功能	227
8.2.2	集中监控模块的设计	228
8.3	开关电源整流模块的监控单元	229
8.3.1	监控单元的功能	229

8.3.2	监控单元的设计	230
8.4	交、直流配电柜的监控单元	232
8.4.1	交流配电柜的监控单元	232
8.4.2	直流配电柜的监控单元	233
8.5	通信电源集中监控后台系统的软件设计	234
第九章	通信开关电源整流模块的设计实例	240
9.1	48V/50A 整流模块(双单端正激变换)的设计	240
9.1.1	设计要求、基本方案选择和计算	240
9.1.2	主电路设计	242
9.1.3	变压器、电抗器的设计	243
9.1.4	控制电路的设计	244
9.1.5	高频有源 PFC 的电路设计	247
9.2	48V/100A 整流模块(移相全桥变换)的设计	249
9.2.1	设计要求、基本方案选择和计算	249
9.2.2	主电路设计	251
9.2.3	变压器、电抗器的设计	254
9.2.4	控制电路的设计	255
9.2.5	监控单元和监控模块的设计	258
参考文献		259

第一章 现代通信开关电源的系统结构和配电设计

1.1 我国通信事业和通信基础电源的发展概况

1.1.1 我国通信事业的发展概况

通信工业是我国经济建设的重点基础工业,优先发展通信事业是发展国民经济和实行对外开放所必需的。改革开放以来,我国的通信事业发展很快,特别是“八五”以来,我国通信产业每年的增长率都在30%以上^[1,2],有的年份还高达50%,国外先进的通信产品更是纷纷抢占我国的通信市场。因此,近年来我国的局级程控电话、用户级程控电话、无线寻呼、移动卫星通信都得到了突飞猛进的发展。全国各地各级电信部门不断加大投入,在开辟新的局站的同时,对旧的局站的通信设备进行了不同程度的改造。

到1999年初,全国程控交换机总容量已经达到1.7亿线,电话机数量已达1.2亿门,电话普及率(平均每百人拥有电话的数量)已达到10%。尽管如此,这还远远不能满足我国国民经济发展和改革开放的需要。在世界上,发达国家的电话普及率高达50%~60%,甚至60%以上,亚洲“四小龙”(韩国、我国香港地区和台湾省、新加坡)的电话普及率也已经高达40%~50%。国民经济发展所必需的电话普及率大约为30%,我国通信事业发展的远景目标是到2010年,全国电话普及率将达到30%。

所以,在未来的10年里,交换机容量需要平均每年增长约2500万门。其中,局级大约2000万门,用户级大约500万门,包括军事、铁路、电力和其它厂矿企事业单位的内部电话网。另外,还有大量早期投入使用的老式程控交换机也需要逐步地改造。近些年来,我们国家无线寻呼和移动卫星通信的发展更是日新月异。到目前为止,无线寻呼发展的高峰期已经过去,发展的速度已经缓慢下来。但是移动卫星通信的发展则是越来越快,从全球通(GSM)到码分多址(CDMA),再到全数字网,各地各级无线继站的建设力度越来越大。可见,在未来的10年里,移动卫星通信将会有很好的发展前景。

总之,在未来一段时间里,随着国民经济的稳定增长,我国的通信事业也将会持续地发展,现代通信电源系统同样存在一个广泛而持久的市场。

1.1.2 现代通信设备供电系统的组成

现代通信设备供电系统又称为通信电源系统,被誉为现代通信设备的“心脏”,是一种为通信设备(主要是程控交换机)提供工作电源的直流输出电源变换系统,它的功能就是将输入交流电压变换成现代通信设备所需要的各种电压、电流数量等级的直流电。

现代通信设备供电系统分为集中供电系统和分散供电系统两种^[3,4],它们有各自的优点和不足。集中供电系统和分散供电系统的根本区别在于是否将供电系统和通信设备放在一起,前者将供电系统(指基础电源系统)和通信设备分别安装在不同的房间,而后者则把它们放在一起。在我国,大容量和部分小容量的通信设备,采用的供电系统基本上都是传统的集中供电系

统,也有的小容量的通信设备把基础电源系统和通信设备安装在同一个房间。在世界上,有少数国家,如英国、法国、日本等国的通信设备大多采用了分散供电系统。

1. 现代通信设备集中供电系统

现代通信设备集中供电系统的组成结构如图 1.1 所示。

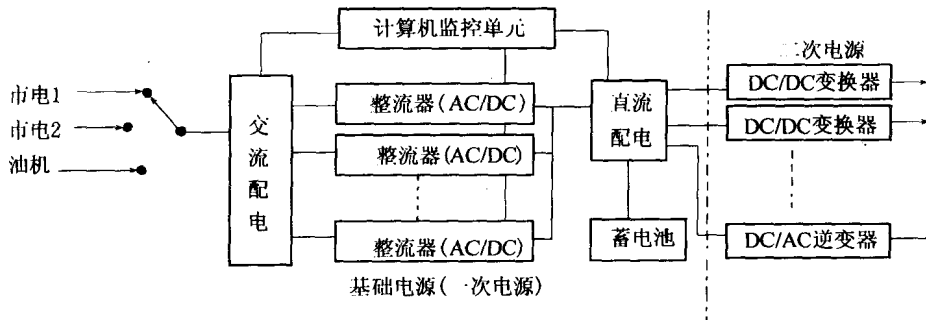


图 1.1 现代通信设备集中供电系统的组成

图 1.1 中,虚线左边部分就是我们要讨论的通信设备的基础电源系统,通常也叫一次电源系统;虚线右边的则是二次电源系统。通信设备的二次电源一般都集中安装在通信设备内部,成为设备的一部分,或者说,二次电源属于通信设备的组成部件。不同的通信设备对二次电源的要求也不同,但从原理上讲,二次电源是既普通、又典型的直流电源变换器(DC/DC),只是它一般有多路输出。二次电源的设计可以参考一次开关电源的设计方法,所以这里只详细讨论一次开关电源(即基础电源)的设计方法。

由图 1.1 可以看出,通信设备的基础电源系统包括交流输入、交流配电、整流器、直流配电、蓄电池和计算机监控等几部分。

通信设备集中供电系统主要有以下几方面的优点:

- 1) 基础电源系统的交流输入、交流配电、整流器、直流配电和计算机监控集中在一起,蓄电池则单独集中在一起,以便于维护和管理;
- 2) 可采用两组蓄电池,以提高供电的可靠性,并且不用考虑蓄电池兼容的问题;
- 3) 同样可采用多台整流器并联工作,既能实现 $N+1$ 备用,又能均分负载,从而提高了整个供电系统的可靠性;
- 4) 由于基础电源系统和通信设备之间有一段距离,电源系统内部的相互干扰可以不影响通信设备的正常工作;
- 5) 集中供电系统在安装时如果考虑到了扩容问题,留出了空间,则扩容也很方便。

集中供电系统也有不足之处,主要表现为以下几点:

- 1) 供电系统容量大,体积大,也比较重,集中安装使得基建工程量大;
- 2) 由于基础电源系统和通信设备之间有一段距离,供电系统直流输出到通信设备线路上的压降大,增加了损耗,降低了供电效率;
- 3) 供电系统直流输出到通信设备的线路上可能会受到外来干扰,为了不影响通信设备的工作,在送到通信设备之前要加滤波装置;
- 4) 万一整个供电系统出现故障,会影响本系统所支持的所有通信设备的工作,影响面比

较大。

2. 分散式供电系统

分散式供电系统的形式主要有以下三种：

1) 在通信设备的机房里安装一个集中的基础电源系统,包括整流设备、配电和蓄电池,为所有的通信设备供电,这实际上和集中供电系统是一样的。和以下两种方式相比较,这种供电方式蓄电池的供电时间比较长,比如1小时左右。

2) 在通信设备的机房里安装几个基础电源系统(包括整流设备、配电和蓄电池),分别为各自的一部分通信设备供电。这种供电方式每个基础电源系统中的蓄电池的供电时间可以稍微短一些,比如15~30分钟。

3) 在每个通信设备的机架上(或者屏、柜内)安装一个小的基础电源系统(包括整流设备、配电和蓄电池),为本机架上的通信设备供电。

分散式供电系统的优点主要有以下几点：

- 1) 占地面积小,节省空间,基建工程量小;
- 2) 直流输出线路短,节省材料,降低压降,减小损耗;
- 3) 基础电源系统和通信设备统一布置安装,通信系统扩容也比较方便;
- 4) 采用多个基础电源系统时,一个基础电源系统出现故障,不至于使整个局的通信全部瘫痪。

分散式供电系统也有缺点,主要表现在：

- 1) 通信设备基础电源系统的集中监控和管理,以及蓄电池的维护都比较麻烦;
- 2) 各个基础电源系统单独工作,一个出现故障时,其它电源系统不易为这部分通信设备供电,从这个意义上说,也影响了其可靠性;
- 3) 需要精心设计基础电源系统,尽量减小其辐射干扰,以免影响通信设备工作。

1.1.3 现代通信设备基础电源系统的发展概况

1. 我国通信设备基础电源系统的发展概况

现在我国正在运行的通信设备所采用的基础电源系统有可控硅(又叫晶闸管)整流式和高频开关式两大类。早期投入运行的通信设备所采用的基础电源系统大多是可控硅整流式,最近几年新上和改扩建的通信设备,基础电源大都采用了高频开关式电源。这里所讲的高频开关是相对于工频整流式来说的,指的是开关频率在20kHz及其以上频率(超音频、无开关噪声)的开关电源。需要说明的是,在专业的开关电源领域里,一般的开关频率在500kHz以上的才真正算得上高频开关电源。

由于我们的通信设备和通信电源研制水平都比较落后,早期引进的通信设备都配有国外的基础电源系统,并且也都是可控硅整流式电源,比如,瑞典的AXE,HDX,日本的NEAX61E,FETEX-150,德国的EWSD,法国的E10等型号的数字式局级程控交换机所配的都是可控硅整流式电源系统。我国从1963年就开始研究可控硅整流式电源^[5]。随着国产交换机对电源的迫切需要,以原邮电部通信电源厂为代表所生产的DZY系列整流式通信基础电源系统也得到了广泛的应用。

由于开关电源具有很多整流式电源所无法比拟的优点(将在下一节讲述),通信设备基础

电源系统的方向是开关电源。我国虽然从 20 世纪 60 年代就开始研究开关电源,但是由于我国的电子、磁性材料、加工工艺等相关工业的落后,对开关电源的研究开发进度一直不快,比国际的先进水平要落后得多。直到 80 年代我国才开发出了 20kHz 的直流-直流变换器,但质量很不稳定。80 年代后期,首次从澳大利亚引进了 48V/50A(40kHz)和 48V/100A(20kHz)的高频开关电源。从那时开始,我国越来越重视高频开关式通信基础电源的开发和应用,积极参加各种有关的国际学术会议,如国际通信能源会议、国际电力电子学术会议等。在最近几年,由于先进的大功率 MOSFET 和第三代 IGBT 开关管,与形形色色的 PWM 集成控制芯片在世界范围内的推广应用,高频开关式通信基础电源得到了突飞猛进的发展。我国一方面从国外直接引进成套的高频开关式通信基础电源,与国外的先进技术合作生产,一方面自行研制开发先进的开关电源系统。目前,在我国的通信基础电源市场上出现了国外产品、合作厂产品和国产产品纷争的局面,而且国产产品的销售情况越来越好。在本节的最后,我们专门列出了在我国的通信基础电源市场上出现的典型产品的性能对比。

2. 国外通信设备基础电源系统的发展概况

在国际上,自美国在 20 世纪 50 年代相继出现单端式和推挽式开关电源之后,在 60 年代就提出了要逐步取消工频整流式电源的要求。70 年代,SG 公司首先制造出了单片集成脉宽调制(PWM)控制芯片,使开关电源更加小型化,可靠性也得到了进一步的提高。

80 年代初,英国较早地研制出了 48V 成套的高频开关式通信基础电源系统^[5],从那时到现在的十几年中,美国、德国、加拿大、澳大利亚、新西兰、瑞典、日本、法国、西班牙、挪威等国家,都先后研制出了高频开关式通信基础电源系统,并得到推广应用。

尽管通信基础电源系统的容量比较大,但还是紧跟开关电源技术的发展而不断进步。各种开关电源的发展方向基本上都是采用更先进的新器件、新技术、新材料、新工艺来逐步减小开关电源的体积和重量,改善电气性能指标,提高工作可靠性,降低对电网的污染,消除对其它设备的干扰,增强智能化程度等等^[6],具体表现在以下几个方面:

1) 较大功率的场效应管(VMOSFET)模块、高速低压降第三代 IGBT 模块、智能型 IGBT 功率模块、开关频率可达 150 kHz 的高速 IGBT 的相继出现并得到推广应用,开关电源的容量也得到了相应提高。比如,现在澳大利亚、加拿大、日本等国已经生产出 200A 的 VMOSFET 通信用开关整流模块。

2) 负载谐振、双零开关(ZVS,ZCS)、双零转换(ZVT,ZCT)等软开关技术的发展,使得它们可以取代硬开关 PWM 控制技术,从而设计出体积更小、功率密度更高的开关电源。比如,美国 F. C. Lee 博士领导的 Virginia 电力电子研究中心已经实验出功率密度为 $3\text{W}/\text{cm}^3$ 的开关电源;加拿大北方电信公司已开发出了全桥软开关 PWM 通信用一次开关电源^[7],输出为 54V,28A,PF=0.99,效率为 90%,功率密度为 $1.95\text{W}/\text{in}^3$ 。

3) 采用电流模式控制技术,改善了系统的静态和动态电气性能指标,提高了可靠性。

4) 采用无源和高频有源功率因数校正(PFC)技术,提高了功率因数,减少了对电网的谐波污染。

5) 采用并联均流技术,实现多模块(N+1)并联运行、均分负载,提高了通信基础电源系统的供电可靠性。

6) 采用微机控制技术对通信基础电源系统和通信设备实行集中监控、无人值守,提高了

智能化程度。

3. 典型的通信基础电源系统产品的性能对比

在我国的通信基础电源市场上,出现了国外产品、合作厂产品和国产产品并存、纷争的局面。典型的通信基础电源产品的性能对比见表 1.1。

表 1.1 典型的 48V 通信基础电源整流模块的性能对比

生产单位	额定输出电流 (A)	稳压精度 (%)	效率 (%)	功率因数	衡重杂音 (mV)	体积 H×W×D (mm)	开关频率 (kHz)	输出电压 (V)	智能型
深圳华为通信股份有限公司	100	±0.6	90	0.92	<2	135×500×550	20	42~58	是
邮电部北京通信设备厂	100	±1	90	0.9	22dB	130×419×381	—	42~62	是
烟台东方玉麟电子有限公司	100	±0.6	92	0.94	<2	179×550×550	50	42~58	是
潍坊华光科技股份有限公司	50	±0.6	91	0.99	<2	—	50	43~58	是
上海新电元通信设备公司	100	±1	90	0.93	<2	—	—	43~59	非
珠江电信公司(挪威 ELTEX)	100	—	87	0.98	<2	123×485×535	80	45~58	是
武汉通信电源厂(西班牙 ALCTEL)	40	±0.5	88	0.99	<2	275×163×430	100	40~60	是
杭州侨兴(新西兰 SWICHTEC)	200	±0.5	92	0.99	<2	177×483×465	几百	45~58	是
广西兴安(英国 FARNELL)	75	±1	87	0.99	2	150×266×450	100	43~58	是
上海西门子(德国 SIEMENS)	100	±1	95	1	1.8	266×483×435	50	51~60	是
东莞澳新(澳大利亚 EXICOM)	200	±1	87	0.98	<2	310×485×400	20	48~58	是
亚澳通讯电源公司(澳大利亚 RT)	100	±0.5	92	0.94	<1	132×434×400	—	48~64	是
美国 Lorain	50	±1	91.6	0.95	32dB	176×483×435	80	49~58	是
瑞典 Ericsson	28	±0.5	87	0.99	<1	485×336×435	—	46~56	非
日本 NEC	50	±1	91	0.92	1	148×565×370	100	48~58	非
英国 B. B. E	50	±1	88	0.98	<2	—	60	45~60	非
法国 Thomson	200	±1	95	0.98	<1	—	—	—	—

1.2 现代通信基础开关电源系统的概述

1.2.1 通信用高频开关电源的特点

高频开关式通信设备基础电源将会全部取代整流式电源,因为开关式电源具有很多整流式电源所不及的优点,主要表现在以下几个方面:

(1)体积小,重量轻,节省钢材和铜材

电源设备中,变压器和电抗器在很大程度上决定了其体积和重量。我们知道,对于变压器有以下基本公式:

$$U = KfNSB_m \quad (1.1)$$

式中: U 表示变压器绕组上所加的电压(V);

K 为波形系数(正弦波为 4.44,方波为 4);

f 为工作频率(Hz);