

通信电源技术、标准及测量

李崇建 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 提 要

本书对现代主要通信电源及通信局站电源系统的组成、工作原理和典型基本电路做了较全面的介绍。

本书包括了高频开关整流器、DC/DC 二次模块电源基本电路的分析, 固定型阀控密封式铅酸蓄电池的工作原理、制造工艺、使用维护, UPS 不间断电源的电路组成、工作原理、使用与维护。对上述通信电源产品的标准及测量方法也做了详细的介绍。

本书适合于通信电源专业的初学者及运营维护人员学习用。也可作为电源专业培训班的教学参考书。另外对从事电源专业的技术人员也有一定的参考作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

通信电源技术、标准及测量/李崇建编著. —北京: 北京邮电大学出版社, 2001.10

ISBN 7-5635-0540-7

I. 通... II. 李... III. ①通信设备—电源—标准 ②通信设备—电源—电气测量 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 066882 号

-
- | | |
|----------|---|
| 书 名: | 通信电源技术、标准及测量 |
| 作 者: | 李崇建 |
| 责 任 编 辑: | 张学静 |
| 出 版 者: | 北京邮电大学出版社 (北京市海淀区西土城路 10 号) |
| | 邮编: 100876 电话: 62282185 62283578 |
| | 网址: http://www.buptpress.com |
| 经 销: | 各地新华书店 |
| 印 刷: | 北京市忠信诚胶印厂 |
| 印 数: | 1—5 000 册 |
| 开 本: | 787mm×1 092 mm 1/16 印张: 11.75 字数: 279 千字 |
| 版 次: | 2002 年 1 月第一版 2002 年 1 月第一次印刷 |
| 书 号: | ISBN 7-5635-0540-7/TN·244 |
| 定 价: | 24.00 元 |
-

前 言

近年来，由于我国通信事业的飞速发展，高频开关整流器、阀控式密封铅酸蓄电池、交流不间断电源 UPS 等主要通信电源得到了广泛的应用。

本书对通信电源产品的基本电路组成和工作原理做了较详细的介绍，并且还结合通信行业的特点和要求介绍了通信局站电源系统的配置，系统工作原理与系统各部分应具有的功能。并向广大的电源用户及运营维护人员介绍了通信电源的行业标准和规范，以及主要技术指标的测量方法。

目前，随着新型功率器件、控制电路的不断出现，通信电源技术将会有更新的发展。本书旨在为通信电源技术的普及为广大读者提供一些电源专业基础知识。

本书第七章“固定型阀控密封式铅酸蓄电池”中 1~6 节的内容由哈尔滨光宇蓄电池有限公司黄立明副总经理编写。中国电源学会交流稳定电源专业委员会主任张广明先生对本书第八章“交流不间断电源 UPS”中的部分内容提出了宝贵的修改意见，特此表示衷心感谢。

本书中所介绍的通信电源产品相关标准，在编写时均为有效版本。因为所有标准都会被修订，因此请读者在参阅本书中介绍的标准时，要注意此标准的有效性或最新版本。

由于本人水平及经验有限，书中难免有错误或不足之处，敬请广大读者指正。

作 者
2001.8.15

目 录

第一章 我国通信电源的发展概况.....	1
第二章 通信局站直流供电系统.....	4
第一节 系统的组成.....	4
一、单机架直流供电系统.....	4
二、多机架大容量直流供电系统.....	6
第二节 系统的工作原理.....	8
第三章 高频开关整流器	10
第一节 高频开关整流器模块的结构与框图	10
第二节 DC/DC 功率变换器	11
一、推挽式功率变换器	11
二、全桥式功率变换器	17
三、半桥式功率变换器	18
四、单端正激功率变换器	19
第三节 高频开关整流器用功率管	26
一、MOSFET 功率管的特性及主要参数	26
二、MOSFET 功率管的常用驱动电路	29
三、IGBT 复合功率管的特性及主要参数	32
四、IGBT 复合功率管的驱动电路	34
第四节 高频功率变压器	36
一、磁芯材料性能和结构	37
二、高频变压器绕组计算	39
三、变压器绕组的绕制和安装	40
第五节 高频开关整流器的功率因数补偿	42
一、功率因数补偿主电路	43
二、有源功率因数补偿电路的控制原理	45
第六节 高频软开关功率变换技术	48
一、谐振开关简介	48
二、移相式零电压开关 PWM 变换器.....	49
第七节 高频开关整流器的保护电路	52

一、输入端连续过电压保护	52
二、输入瞬态过压保护	54
三、启动冲击电流限制	54
四、软启动电路	56
五、输出限流保护	57
第八节 负载电流的均分	61
第九节 PWM 控制原理及其集成电路应用	64
一、PWM 控制原理简介	64
二、SG3525A 集成控制器及其应用	64
三、电流型 PWM 集成控制器 UC3846	68
第十节 恒功率整流器	70
第十一节 高频开关整流器的噪声及其抑制	72
一、噪声的分类及其产生的原因	72
二、噪声的抑制	74
第十二节 高频开关整流器的故障判断与维修	77
第十三节 通信电源的防雷	81
一、雷电的产生及其特点和危害	81
二、通信电源的防雷保护方式	84
三、防雷器的种类、主要技术指标及测试方法	86
第四章 通信局站电源、空调及环境集中监控系统的组成及监控内容	89
第一节 监控系统的组成	89
第二节 集中监控系统的监控内容	90
第五章 高频开关电源系统与高频开关整流器的产品标准及主要技术指标的测量	94
第一节 电源系统与整流器的产品标准及主要技术指标的测量	94
第六章 通信用二次模块电源	105
第一节 概 述	105
第二节 模块电源的基本电路与工作原理	107
一、有源箝位电路的工作原理	107
二、同步整流电路的工作原理	109
三、双路输出电路的工作原理及特性	110
四、模块电源的启动电路	112
五、模块电源输入过欠压保护电路	113
六、模块电源的输出限流及过压保护	114
第三节 模块电源的引出端定义及使用方法	115
第四节 机架电源板	118

一、电源板的输入电路	119
二、电源板输入冲击电流的限制	120
三、电源板的输出电路	121
四、电源板的工作及故障显示电路	121
五、电源板的并联使用	123
六、电源板的散热	124
第五节 模块电源的主要技术指标及测试方法	125
第七章 固定型阀控密封式铅酸蓄电池	127
第一节 发展历史及产品特点介绍	127
一、发展历史	127
二、产品特点	127
第二节 结 构	128
一、简 介	128
二、极 板	128
三、隔板与电解液	135
四、外壳及其密封结构	137
五、汇流排与端极柱	139
六、安全阀	140
第三节 铅酸蓄电池的反应机理	141
一、正极放电过程	141
二、正极充电过程	142
三、负极放电过程	143
四、负极充电过程	143
第四节 VRLA 的密封原理	143
第五节 蓄电池的选型	144
第六节 安装与维护	145
一、关于安装	145
二、VRLA 日常维护	145
三、几个常见问题的探讨	146
第七节 阀控密封式铅酸蓄电池的主要技术指标及测量方法	148
第八章 交流不间断电源 UPS	152
概 述	152
第一节 在线式 UPS 电源的组成及工作原理	152
第二节 UPS 电源的输入整流电路	154
第三节 UPS 电源的逆变电路	156

一、正弦波 PWM 逆变器	156
二、循环换流器	157
三、三相逆变器	158
第四节 静态开关	160
第五节 UPS 电源的高频环节变换方式	163
第六节 充电装置与电池管理维护	164
第七节 在线互动式与三端口式 UPS 电源	169
第八节 UPS 电源的串并联使用	170
第九节 通信用 UPS 电源的主要技术指标及测量	173
一、UPS 电源的主要电气技术指标	173
二、UPS 电源输出电流峰值系数的测量及计算方法	177
第十节 UPS 电源的安装与使用	178
参考文献	180

第一章 我国通信电源的发展概况

20 世纪 80 年代中期至 20 世纪末我国的通信电源从研制、开发、生产、应用以及对国外技术和电源产品的引进都取得了长足的发展。

20 世纪 80 年代末至 20 世纪 90 年代初由于高频脉宽调制 (PWM) 技术在整流器产品中得到成功、广泛的应用, 所以高频开关整流器自 20 世纪 90 年代初开始逐步替代传统的可控硅相控整流器。高频开关整流器与传统的相控整流器相比, 无论在技术指标、经济指标及使用效果上来说都具有无可否认的优势。由于高频开关整流器在我国有着巨大的潜在市场, 自 1990 年以来具有一定的研制、开发能力及生产规模的高频开关电源生产厂家在我国已有数十家之多。

20 世纪 90 年代是我国通信电源进入更新换代的时期, 到 1994 年底无论是原有通信局站电源的更新还是新建的通信局站电源的选用都一致首选高频开关整流器, 在我国一直沿用二、三十年的可控硅相控电源退出了通信电源的市场。我国自行研制及生产的高频开关整流器的输出电压规格为 -24 V 和 -48 V , 单机电流值由 10 A 到 200 A 。由高频开关整流模块组成的电源系统输出电流可达几千 A 。一些厂家生产的高频开关整流器的主要电气技术指标如源效应, 负载效应及效率等已达到或超过国外同类产品的技术水平, PWM 硬开关工作方式的高频开关整流器的效率可达 $90\% \sim 92\%$, 移相式 PWM 软开关工作方式的效率可达 $94\% \sim 95\%$ 。

为了消除高频开关整流器输入端谐波电流对公用电网和其他电气设备的干扰, 降低前级主用交流设备及备用交流设备的额定容量, 节省设备投资, 功率因数补偿 (PFC) 已成为高频开关整流器必不可少的功能要求。具有有源功率因数补偿的三相或单相输入的高频开关整流器的功率因数可做到 0.99 甚至更高些, 当功率因数 $\text{PF} = 0.999$ 时输入端谐波电流可降至 3%。

从通信局站对电源系统的监控和管理方面来看, 用计算机集中监控电源系统代替人工控制管理已成为我国目前通信电源设备管理的方向。自 1993 年以来电源和空调设备的集中监控系统已在一些长话局和市话局投入运行。集中监控系统的建设成为现代通信电源的一个热点, 集中监控的实现使通信局站的电源系统有可能做到无人或少人值守。

10 年来我国在交换设备二次直流供电方面也有了很大的发展。为了满足交换设备分层供电及分板供电的要求, 20 世纪 80 年代末我国自行开发、生产的 DC/DC 模块电源同样采用了 PWM 工作方式, 其开关时钟频率可达 100 kHz 以上, 由于模块电源约占 80% 以上的元器件采用了当时国外较先进的表面安装新工艺 (SMT), 使得模块电源电路结构紧凑, 分布参数小, 外壳采用了连续的六面金属屏蔽具有较好的电磁兼容性。功率体积比为 $0.21\text{ W}/\text{cm}^3$, -48 V 输入、 5 V 输出的模块电源效率的典型值为 80%, 输出分路可达四路并具有完整的保护功能。其电气指标完全可以与当时进入中国市场的爱立

信模块电源相比,而且市场价格只相当于爱立信产品的 1/2。

20 世纪 90 年代中期由于同步整流、软开关及有源箝位等新技术的应用和铝基板及陶瓷基板电路板等新材料的应用,而且时钟频率有了较大的提高(约 300 kHz),使得 DC/DC 模块电源的功率体积比达到 3.34 W/cm^3 ,效率可达到 89%~90%,单模块输出功率达到 200 W,电源工作温度可做到工业等级和军工等级。

利用模块电源可方便灵活地组成各种规格的机架电源板,并且在机架上可实现并联和热备份工作,模块电源已经基本上取代了由分立元件组成的 DC/DC 变换器。为交换设备实现分层供电进一步提高运行可靠性奠定了基础。

UPS 是一种交流不间断供电电源系统。早在 1972 年邮电部引进的美国卫星通信地面站设备中就配有 50 KVA 三相 UPS。尤其在近几年随着计算机应用的日益普及和信息处理技术、网络管理技术的不断发展对交流供电电源提出了更高的要求。

目前我国通信行业中使用的大、中型 UPS 均为国外生产厂制造或国内合资生产厂组装。如美国的 APC (AMERICAN Power CONVERSION) 公司,法国的梅兰日兰 (MERLIN GERIN) 公司及美国 Best Power 公司的 UPS 电源在中国的通信行业及其他行业都占有相当的市场份额。我国自行设计生产的中、小功率 (50 KVA 以下) 的 UPS 电源在通信、金融、铁路及工业自动化控制领域也得到广泛应用。为了进一步提高 UPS 电源的可靠性,UPS 电源的备份使用从两台 UPS 通过旁路串连热备份到多台 UPS 通过总控制柜实现多主一备切换式热备份工作,随着并联技术的发展,现在两台或三台同型号 UPS 可在输出端直接并联,并且可均分输出电流。

目前中、大功率的 UPS 电源的研制和生产在我国还是一个薄弱环节,这种落后现象在本世纪初可能有所改变。

通信局站直流供电系统中蓄电池组是不可缺少的组成部分。近十几年来我国通信行业使用的蓄电池已经完成了由阀控式密封铅酸蓄电池代替普通开口式铅酸蓄电池的更新换代。

阀控式密封铅酸蓄电池 (Valve Regulated Lead Acid Battery, 以下简称 VRLA 电池) 与开口式铅酸蓄电池相比有许多优点,如在使用期间不用加电解液维护,由于采用密封结构不会有酸雾产生。贫液式电池内部无游离态电解液,具有灵活的安装方式可减少占地面积,可以实现电源设备与交换设备同室安装,这样可避免电源与交换设备之间的直流母线过长而导致电池供电效率降低和材料费用的提高。

目前我国已有百余家 VRLA 蓄电池生产厂,所生产的 VRLA 蓄电池的单只电压规格有 2 V、6 V、12 V,单体容量由几 Ah 至几百 Ah,蓄电池外形分高型和矮型。一般大型 (2000 Ah 以上) 蓄电池的设计浮充寿命均在 10 年以上,充放电次数为 1000 次左右。经实际使用发现多数蓄电池的寿命少则 3~4 年,多则 5~6 年。这种现象表明在 VRLA 蓄电池的设计和生全工艺过程的控制及用户的使用环境,使用方法及维护都存在的问题。近 10 年来许多蓄电池生产厂对 VRLA 蓄电池生产的全部工艺流程控制进行了多次改进和反复试验,例如对蓄电池的渗液、失水、外壳膨胀、使用寿命等问题进行了不断的改进,而且不断推出一些新产品。

随着通信市场对 VRLA 蓄电池的需求扩大及各生产厂在产品质量、价格方面的竞

争,在未来几年内我国的 VRLA 蓄电池的综合质量指标将会有较大的提高。

我国电信事业的飞速发展,对通信可靠性要求的不断提高,使得人们逐渐清楚地认识到电源在整个通信系统中所占的重要位置。为了提高电源供电的可靠性,生产厂家不断地采用新技术、新工艺、新材料、新型元器件,使通信电源电气指标和可靠性不断地提高。

与此同时原邮电部为了加强对快速发展的电源事业的管理,使之纳入标准化和规范化。自 20 世纪 90 年代后,尤其是 1994 年以来原邮电部编制、修订和发布一整套通信电源的新标准和规范,指导和规范通信电源的设计、制造、维护管理和通信局站电源系统的基本建设。如在 1994 年发布了《通信用高频开关整流器》、《通信用直流——直流模块电源》、《通信用直流——直流变换设备》,1995 年发布了《通信局(站)电源系统总技术要求》,1996 年发布了《通信用阀控式密封铅酸蓄电池技术要求和检验方法》、1998 年发布的《通信电源设备防雷技术要求和测试方法》、《通信用电源设备电磁兼容性限值及测量方法》及 2000 年信息产业部批准执行的《通信用不间断电源——UPS》,另外还有“电信电源维护章程”、“通信电源设备安装设计规范”等通信电源的行业标准和规范。

几年来原邮电部相关司、局加强对这些标准和规范的宣传贯彻,并不定期地委托相关质量监督检验中心对通信电源产品进行抽样检查,基本满足了现阶段国家电信公网和信息化对通信电源的要求,使我国通信电源事业健康快速地发展。

1. 三相交流配电部分

交流配电部分将来自市电或柴油发电机组的三相四线交流电分为整流器模块供电和交流分路输出。这种单机架电源的整流器模块一般为单相 220 V 输入, 考虑到三相交流电的平衡应将机架内所有整流器模块平均地分配到每一相上。交流分路输出为机房内其他交流用电设备提供电源, 如空调、UPS、计算机。交流分路输出的路数和每路的电流容量可根据用户实际需要而定。

交流配电部分的另一种重要功能是将两路输入的交流电实现通、断互锁, 即其中一路交流电源发生故障时可自动切换到另一路交流电源上。但任何时间都不允许出现两路交流电源同时接通或同时断开的现象。两路交流电互锁的方式一般采用机械互锁或电气互锁。如果电源安装在雷雨多发区, 尤其是移动通信基站电源应在交流市电输入端安装具有一定通流量的防雷过压保护器。

2. 整流器模块

整流器模块是直流电源系统的重要组成部分, 电源系统供电质量主要取决于整流器模块的电气指标。整流器模块完成 AC—DC 的变换并且以并联均流方式为交换设备供电, 同时对蓄电池组进行恒流限压充电和集中监控单元的供电。

3. 直流配电部分

直流配电部分的功能与交流配电部分的功能基本相同。直流配电部分将整流器并联输出的 -48 V 直流电分配为三路, 第一路为通信设备供电, 第二路为蓄电池组充电, 当输入交流电源出现故障时整流器模块停机, 这时与整流器模块并联的蓄电池组通过直流配电柜内的欠压保护继电器和熔断器继续为通信设备供电。第三路是为机房内其他直流输入的设备供电, 直流分路输出的路数及各路的电流容量视具体情况而定。

4. 监控模块

直流电源系统的监控模块对于独立的电源系统来说相当于具有智能的控制中心, 但对于通信局站的集中监控或区域监控站乃至更大的本地网监控中心来讲, 监控模块则是一个最基本的监控单元。监控模块的主要功能应具备以下几方面:

1. 监测功能

监控模块的监测对象包含交流配电、每个整流器模块和直流配电部分(包括蓄电池组)。交流配电所监测的内容有: 交流输入线(相)电压、电流。整流器模块的监测内容有: 整流器模块并联输出电压值及每个整流器模块的输出电流。直流配电部分的监测内容包含: 系统直流输出电压、负载电流、蓄电池充放电电流及放电时电压的实时测量, 各分路输出电流及总电流。

2. 控制及告警功能

控制功能主要包括电源系统的开机、关机。各个整流器模块的开机、关机。直流输出电压、交流输入电压范围及直流输出电流极限值的设定。另外还有一套完整的蓄电池管理功能, 如蓄电池浮充、均衡充电电压和充电电流极限值的设定, 浮充、均充时间的

设定及两种充电状态的相互转换。环境温度的测量,充电时环境温度系数的补偿,电池放电时的容量记录和电池欠压保护点的设定等。

电源系统在运行期间如有某些参数达到或超过告警的设定值,监控模块将采集到的模拟量或开关量信号经过处理后发出声光告警信号,并在监控模块的显示屏上显示出故障部位和故障原因。更完善的告警系统还可以将最近一次或几次的故障时间及故障原因储存记录为查询故障和分析故障提供历史依据。

3. 与通信局站上位机数据通信功能

此功能是实现通信局站内多台电源系统的集中监控及区域监控站或更大的本地网监控中心对更多的通信局站电源系统实现集中监控的必要功能。

通信局站的监控单元与计算机组成局站监控系统,此监控系统通过某种物理通信接口,如 RS485/RS422, RS-232 与各电源系统的监控模块之间实现数据通信,以此来达到局站监控系统对所管辖内的电源系统的各项运行参数,状况的查询、更改和设定。同时各电源系统的告警信号可随时上报至局站监控中心。

以上分别介绍了单机架直流供电系统的组成及各部分的功能。

这种直流电源系统的特点是功能齐全,与多机架大容量直流电源相比主要功能无大差异。由于交、直流配电及整流器模块在一个电源机架上组合而成,因而占地面积小摆放灵活,交流输入线可采取上进线或下进线方式。整流器模块的并联可带电插拨工作方式为电源系统的增容及减容使用带来很大的方便。由于这种电源由单机架组合而成,所以输出电流有一定的限制,一般设计在 1 000 A 以下。这种单机架组合的直流电源系统在通信电源行业中习惯称为组合电源。一般用于县级通信局站和移动通信基站。

二、多机架大容量直流供电系统

这种大容量直流电源系统是由独立的交流配电柜(屏)、一个或几个装有整流器模块的整流柜(屏)和独立的直流配电柜(屏)按照一定的要求排列连接组成。其整机结构外形如图 2-2 所示。

其各部分功能与单机架组合电源基本相同,这里就不再详细介绍。

这种电源系统一般为大型局用交换设备供电,其输出电流可达几千 A,因此对交流供电的可靠性有较高的要求,在电源系统的输入端一般至少要备有两路交流供电,其中一路必须是一主一备的柴油发电机组。

其整流器模块单机输出电流一般在 50 A 以上甚至更大些,交流输入为三相三线制,避免了三相交流电不平衡时产生中线电流。

其直流配电柜有时需要两个并联使用,蓄电池的配置一般要求两组或更多,电池容量一般选用 3 000 Ah。

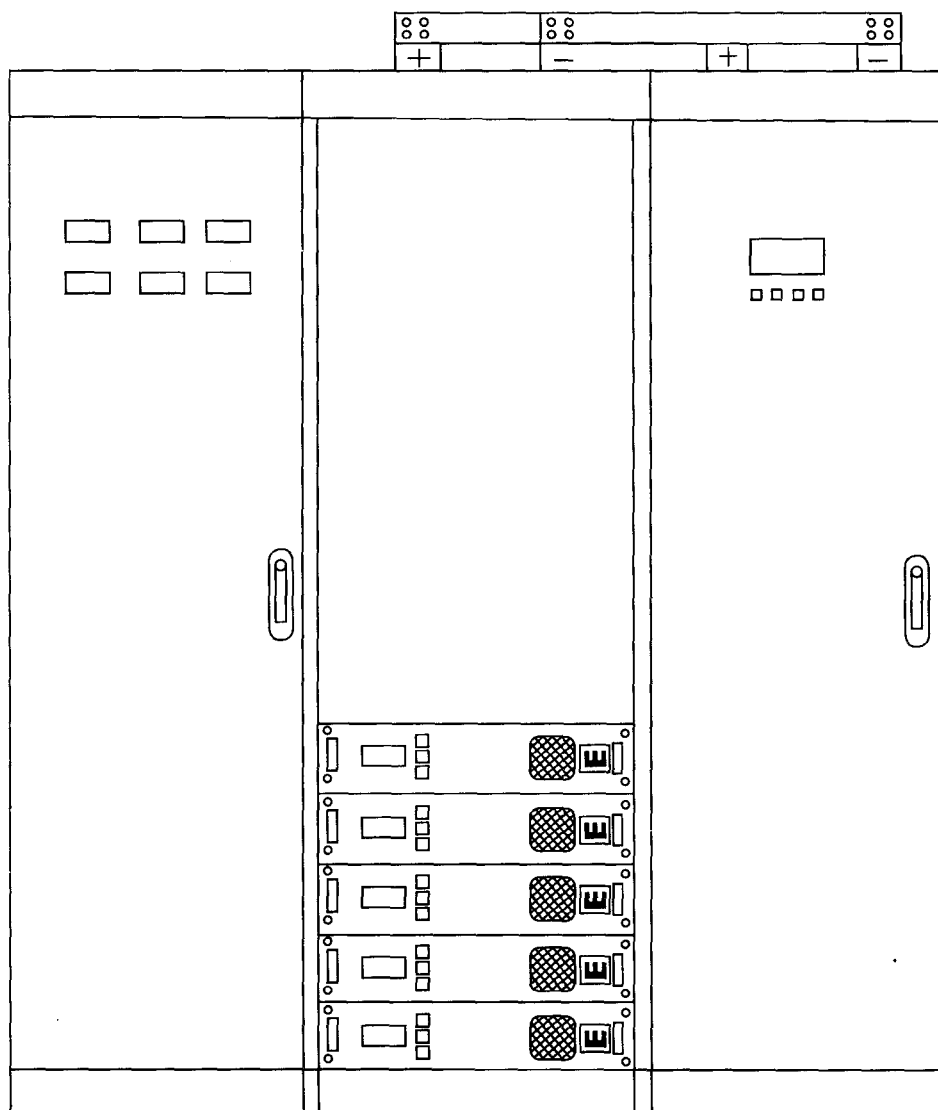


图 2-2 多机架大容量直流电源

第二节 系统的工作原理

通信用直流电源系统的工作原理方框图如图 2-3 所示。以多机架直流电源系统为例。

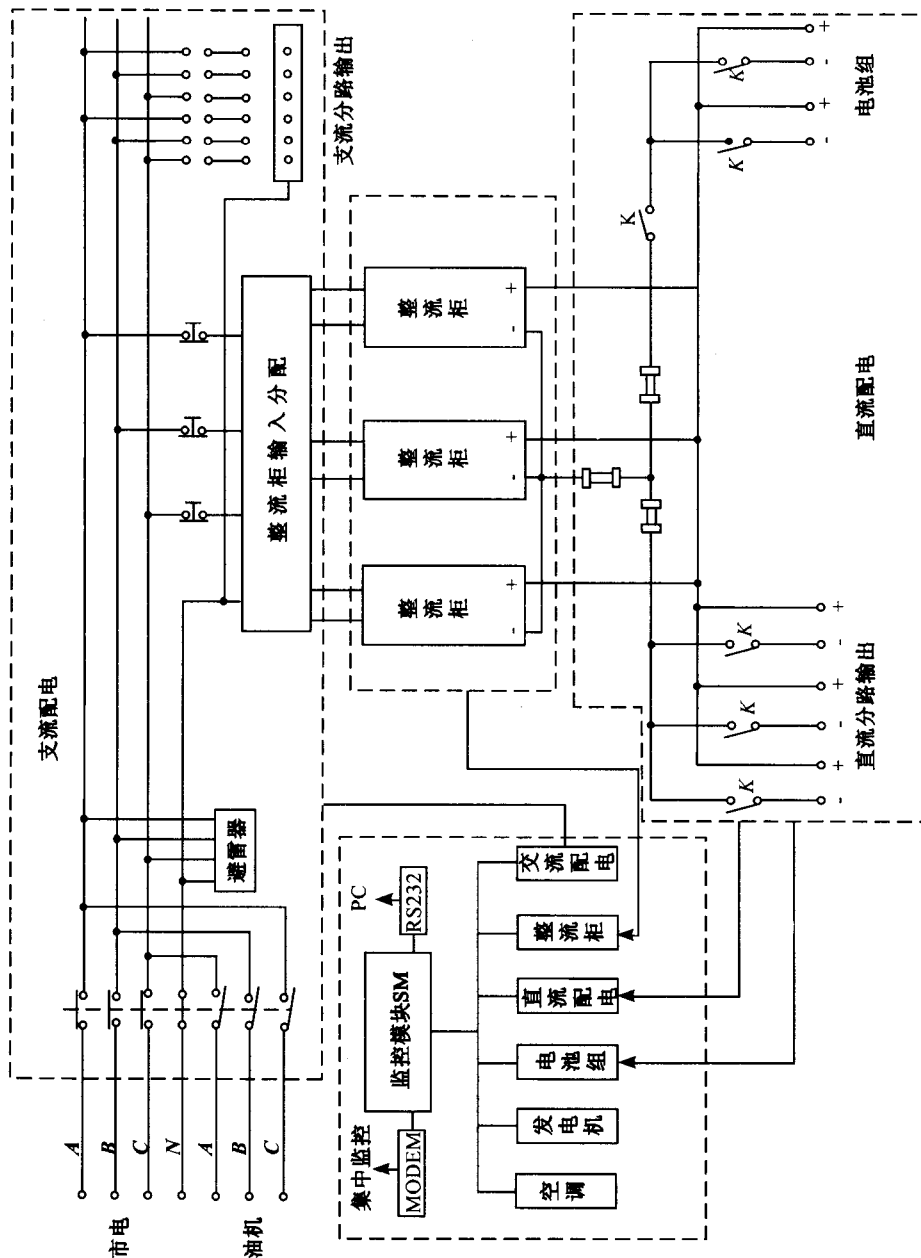


图 2-3 直流电源系统方框图

系统一般由两路交流电源供电，一路为市电三相动力电输入，另一路由柴油发电机组供电。经过主、备切换后一路供给整流器模块输入分配装置，经分配装置输出给各个整流器模块供电。另一路分配到交流配电输出供机房其他交流设备使用。交流配电柜输入按要求装有防雷过压保护器。

经整流器模块 AC/DC 变换后其直流输出汇接到直流母排送至直流配电柜，经过一个总输出分流器一路分到直流输出分路供直流负载分配使用。两组蓄电池通过充放电分流器、总电池开关和分路电池开关与整流器模块输出汇流排并联，两组蓄电池分别串连有欠压切断保护继电器，当电池放电电压达到欠压告警设定值时发出声光告警，如继续放电到欠压关断设定值时电池分路开关将自动断开保护蓄电池不致深度放电损坏。

整流器模块的工作方式一般分为二种，一种是内控式，另一种是外控式。内控式整流器模块内部设有独立的监控单元，可对整流器模块的参数进行检测、设定和显示，这种内控式整流器模块与系统的监控模块一般通过 RS-485 总线连接。外控式整流器模块内部不设独立的监控单元，其输出电压、输出电流极限受系统监模块的控制，如果监控模块发生故障，整流器模块转自主工作状态，其输出电压，限流点服从初始设定值，保证系统不间断供电。这种外控式整流器模块向系统监控模块传输的信号是模拟量和关开量，在监控模块内完成 A/D 转换。

监控模块即可以用本机键盘操作对电源系统运行的参数进行检测、设定和显示，也可以通过 RS-232 通信接口与上位机联接实现局站内电源系统的集中监控，还可以通过调制解调器与远程上位机相连实现远程监控功能。

第三章 高频开关整流器

高频开关整流器是现代通信电源系统的主要组成部分。这种开关整流器的工做频率一般在 30 ~ 60 kHz (IGBT), MOSFET 功率变换管可做几百 kHz。所以具有效率高、功率密度大、体积小、输入电压范围宽等特点。

本章主要介绍开关整流器模块的电路组成及各部分的功能、整流器模块中几种典型传统功率变换电路, 常用功率器件的特性、参数与基本应用及整流器模块的保护电路。近几年发展起来的高频软开关技术做一些简单介绍。

第一节 高频开关整流器模块的结构与框图

高频开关整流器模块的结构方框图如图 3-1 所示。方框图包含输入滤波电路、整流电路、功率因数校正电路、DC/DC 功率变换电路、滤波输出电路及辅助电源及监控电路。各部分电路的功能如下:

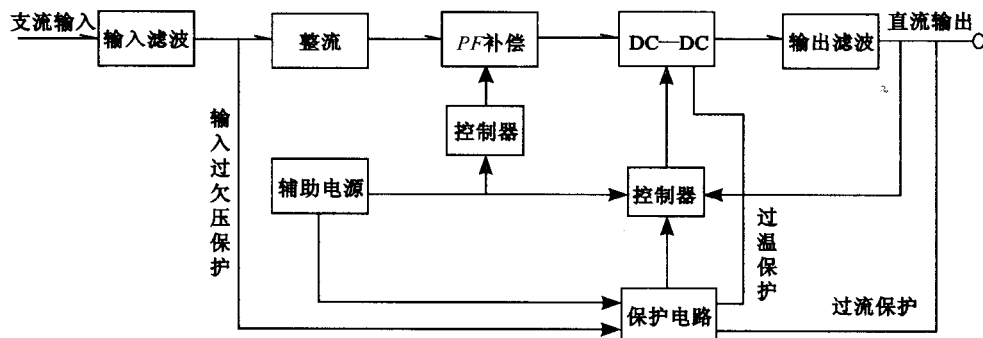


图 3-1 高频开关整流器电路方框图

1. 输入滤波电路

这部分电路包括低通滤波、浪涌电压吸收电路, 主要用于抑制电网侧的高次谐波电流、其模噪声和差模噪声、浪涌电压以及外界空间的射频干扰。

2. 整流电路

这部分电路只是把单相或三相交流电变为脉动直流电压, 所有的整流器模块都是采用整流桥做为整流电路。

3. 功率因数校正电路

这部分电路是用来抑制输入电流中的谐波成份, 使输入电流波更接近于正弦波, 减