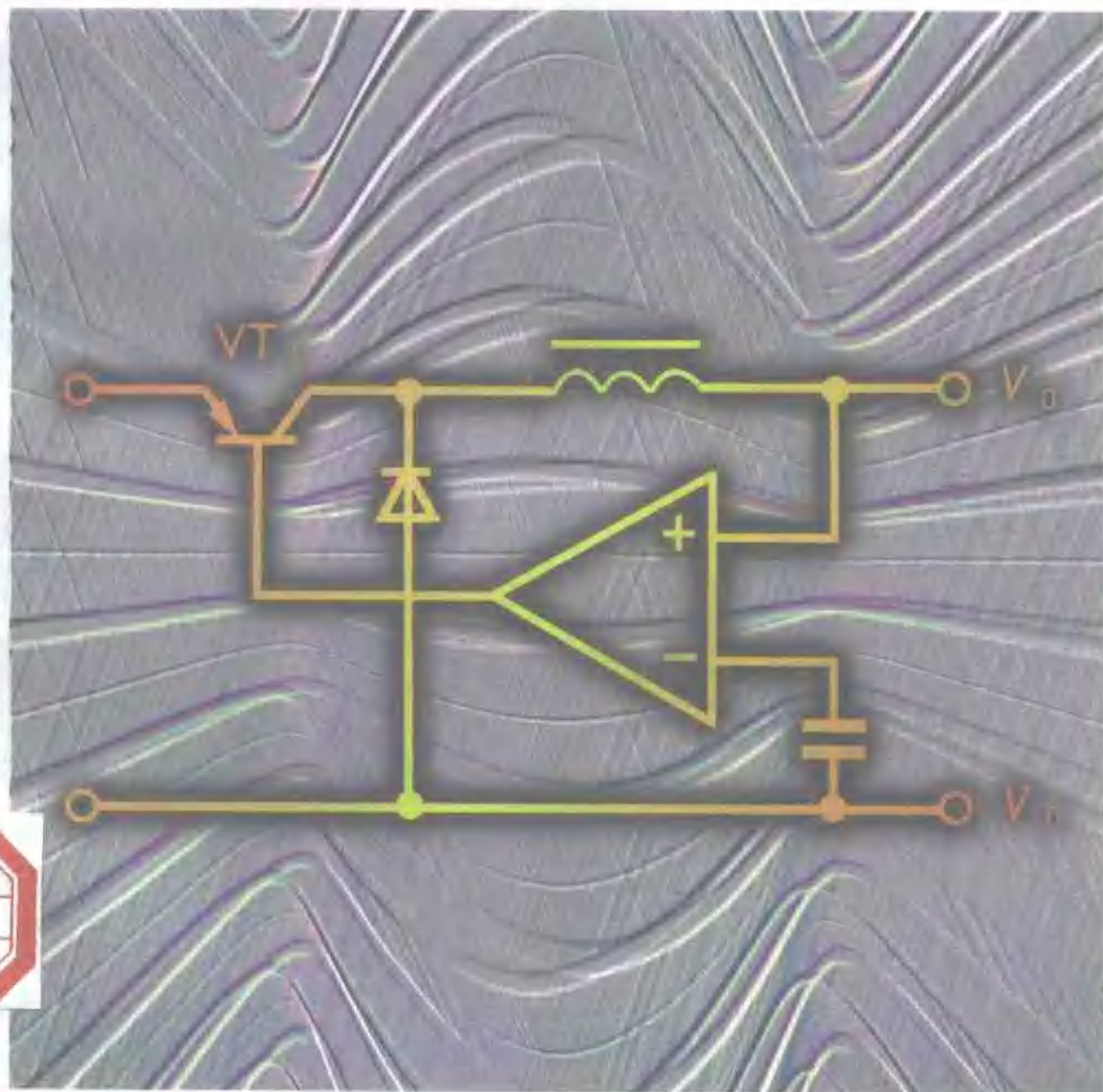


通信电源新技术  
与新设备丛书

# 通信用 高频 开关电源

张廷鹏 吴铁军 徐明 张生舟 编著  
邮电通信电源情报网 审  
人民邮电出版社



467100

通信电源新技术与新设备丛书

# 通信用高频开关电源

张廷鹏 吴铁军 徐 明 张生舟 编著

邮电通信电源情报网 审



人民邮电出版社

本书共分十一章：第一章概述，主要介绍了国内外通信用高频开关电源的发展趋势及现状，以及高频开关电源的基本知识；第二章介绍时间比率控制稳压原理和特点；第三至六章分别介绍了通信高频开关电源中的功率转换电路、滤波电路、控制电路和驱动电路；第七章介绍功率因数校正技术；第八章介绍谐振型 DC-DC 变换器；第九、十章分别介绍 PWM 型和谐振式两种高频开关电源实用电路；第十一章重点介绍了通信电源计算机集中监控管理系统。

书中结合目前在通信中应用较广泛的 DUM07 型、DUM14 型、DUM34 型和 FIJTEK PRS5000、SSC48 系列及西门子等六种高频开关电源系统的结构组成和工作原理，以及各种电源系统的特点、使用、维护和故障排除基本方法。

书中既用了一定篇幅系统的讲述了高频开关电源的基本理论和基本知识，又结合目前在通信中应用广泛的高频开关电源系统为典型设备，用通俗的语言，理论联系实际对一向从事高频开关电源使用维护和管理的技术人员介绍了应该掌握的知识和技能。同时该书也可供其他从事通信高频开关电源工作的各类技术人员参考。

通信电源新技术与新设备丛书  
通信用高频开关电源

- ◆ 编 著 张廷鹏 吴铁军 徐 明 张生舟  
审 邮电通信电源情报网  
责任编辑 刘兴航
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号  
北京顺义兴华印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本：787×1092 1/16  
印张：15.75  
字数：395 千字 1997 年 9 月第 1 版  
印数：1—4 000 册 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-06427-X/TN · 1174

定价：24.00 元

# 《通信电源新技术与新设备丛书》

## 编审委员会

名誉主任 周月楼

主任 朱雄世

副主任 (姓氏笔划为序)

李树岭 孟繁胜 黄尚贤

委员 (姓氏笔划为序)

刘兴航 刘希禹 孙业修 杨世忠 李正家

苏炳坤 张廷鹏 张顺林 徐曼珍 鲍玉珍

管雄俊

执行委员 刘兴航 李正家

# 前 言

80年代以来,随着电力电子技术的发展,新器件的出现和新技术的应用以及通信发展的需要,研制了以高频开关整流器和阀控式密封铅酸蓄电池为代表的新的电源设备。新研制的通信电源设备可靠性有了很大提高,性能更加完善,出现了通信电源更新换代的良好局面。当前,我国通信电源供电体制正在从集中供电方式向分散供电方式过渡。

用高频开关电源代替相控整流器的稳压电源,用阀控式密封铅酸蓄电池代替防酸式铅酸蓄电池,用计算机集中监控电源系统代替人工控制技术,这是我国目前通信电源设备更新换代的三大热点。

为了帮助我国通信电源工程技术人员更新知识,系统地掌握通信电源技术的基础理论知识和提高解决实际问题的能力,并了解当前技术发展趋势,以便更好地为我国通信事业发展服务。本网会同人民邮电出版社组织编写了《通信电源新技术与新设备丛书》一套,这套丛书暂分8册,包括:《程控数字通信系统基础电源设备》、《通信用高频开关电源》、《阀控式密封蓄电池及其在通信中的应用》、《通信电源集中监控系统》、《通信电源变换新技术》、《农村通信电源新设备》、《新型油机发电机组》和《通信用新能源》等。

这套丛书的特点是以定性分析为主,阐释基本概念深入浅出,具有实用性、新颖性、针对性、前瞻性和完整性。紧密联系生产实践,结合具体产品,从我国当前生产、引进和应用的实际出发,介绍从事通信电源工作的各类工程技术人员所需要的知识,如系统、体制、指标、规格、标准、规范和规程等。

这套丛书可以供从事通信电源研制、生产、设计、使用、维护和管理人员阅读,也可供即将从事通信电源工作的大中专学生作为教材或参考书。

对于支持这套丛书编辑出版的专家和各方人士表示衷心的感谢!并欢迎广大读者提出宝贵意见和建议,以使这套丛书适合大家实际需要。

邮电通信电源情报网

1995年8月

## 序

我国通信事业正以前所未有的高速发展,以程控数字技术装备起来的各种新通信设备,技术水平不断提高,通信局站的规模容量不断扩大。对这些现代化的通信设备,不仅要求具有优越性能,而且要求具有更好的经济性和可靠性。

通信电源设备和供电系统,必须保证通信设备稳定、可靠和安全供电,任何供电系统的故障,必将引起通信故障,以至大范围的通信瘫痪,故电源设备的重要性在整个通信局站中的地位也愈显重要。

整流设备是通信电源系统的重要组成部分,近年来我国邮电部门推广使用新型高频开关型整流器,它具有小型轻量,功率因数、效率和可靠性高的先进性能,已逐步替代传统的相控型整流器,成为直流电源设备更新换代的新设备。

本书系统地阐述了国内外高频开关型整流器的基本工作原理,电路构成,新型元器件的应用,并详细介绍了功率变换器的脉宽调制和谐振技术,以及功率因数校正等新技术。

本书主编从事数十年通信电源数学工作,又亲身参加高频开关型整流器的研制开发和生产工作,积累了丰富的经验和搜集许多崭新的资料,精心编写。内容全面、新颖,深入浅出的叙述和介绍,因此本书不仅能供从事通信电源专业工作人员阅读,也能作为大中专院校教学的参考书。本书的出版将会受到广大电源工作者的欢迎。

朱雄世

1997年7月

## 编 者 的 话

本书是受邮电部通信电源情报网及人民邮电出版社委托,在《通信电源新技术与新设备丛书》编审委员会指导下编写的。

全书共分十一章,第一至第六章由张廷鹏编写,第七、第八两章由张廷鹏、徐明、张生舟编写,第九、第十章由生产厂提供资料,其中9—5 西门子高频开关电源系统资料由陆扬编写,9—6 SSC48 系列高频开关电源系统资料由申元编写,之后由徐明、张生舟部分改编,第十一章由吴铁军编写,全书由张廷鹏统编,邮电部通信电源情报网委托朱雄世审稿。在编写过程中得到了杭州侨兴电信设备厂、邮电部武汉通信电源厂、珠江电信设备制造有限公司、上海西门子通信电源公司和邮电部武汉通信仪表厂、上海新电元通信设备有限公司,提供了大量技术资料,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,望读者批评指正。

作者

1996 年 12 月

# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	1
1-1 国内外开关电源的发展.....	1
1-2 高频开关电源的组成.....	3
1-3 高频开关电源的优点.....	4
1-4 高频开关电源系统组合.....	5
<b>第二章 时间比率控制稳压原理和特点</b> .....	7
2-1 时间比率控制稳压原理.....	7
2-2 TRC 控制方式和特点 .....	8
2-3 TRC 控制变换器型开关电源的工作原理和特点 .....	9
<b>第三章 功率转换电路</b> .....	13
3-1 推挽式功率转换电路 .....	13
3-2 全桥式功率转换电路 .....	14
3-3 半桥式功率转换电路 .....	15
3-4 三种功率转换电路的综合比较 .....	16
3-5 功率转换电路的不平衡问题 .....	16
3-6 单端反激式变换器 .....	22
3-7 单端正激式变换器 .....	24
<b>第四章 滤波电路</b> .....	26
4-1 输入滤波电路 .....	26
4-2 工频滤波电路 .....	27
4-3 输出滤波电路 .....	28
4-4 防辐射干扰 .....	29
<b>第五章 控制电路</b> .....	33
5-1 控制电路的功能和结构 .....	33
5-2 时钟振荡器 .....	34
5-3 脉宽调制器 .....	39
5-4 分频器 .....	43
5-5 软启动电路 .....	44
5-6 保护电路 .....	46
5-7 辅助电源 .....	48
5-8 控制电路集成化 .....	50
<b>第六章 驱动电路</b> .....	55
6-1 恒流驱动电路 .....	55
6-2 比例电流驱动电路 .....	56
6-3 反向驱动电路 .....	58
6-4 互补驱动电路 .....	62



6-5	基极电感辅助关断驱动电路 .....	63
6-6	电压型驱动电路 .....	64
<b>第七章</b>	<b>功率因数校正技术 .....</b>	<b>67</b>
7-1	功和功率 .....	67
7-2	功率因数 .....	68
7-3	功率因数的提高与改善 .....	69
7-4	功率因数校正技术 .....	71
<b>第八章</b>	<b>谐振型 DC-DC 变换器 .....</b>	<b>77</b>
8-1	概述 .....	77
8-2	串联谐振变换器(SRC) .....	78
8-3	并联谐振变换器(PRC) .....	85
8-4	零电流开关(ZCS)准谐振变换器 .....	93
8-5	零电压开关(ZVS)准谐振变换器 .....	99
<b>第九章</b>	<b>PWM 型高频开关电源实用电路介绍 .....</b>	<b>105</b>
9-1	DUM07 型高频开关电源系统 .....	105
9-2	DUM14 型高频开关电源系统 .....	124
9-3	DUM34 型高频开关电源系统 .....	136
9-4	ELTEK PRS5000 电源系统 .....	145
9-5	西门子高频开关电源系统 .....	176
9-6	SSC48 系列高频开关电源系统 .....	190
<b>第十章</b>	<b>谐振式高频开关电源实用电路介绍 .....</b>	<b>201</b>
10-1	概述 .....	201
10-2	整流模块结构及基本工作原理 .....	202
10-3	系统结构 .....	207
10-4	安装与调测 .....	217
10-5	接地及浪涌保护 .....	220
10-6	日常维修 .....	223
10-7	POWEC 高频开关电源 .....	224
<b>第十一章</b>	<b>通信电源计算机集中监控管理系统 .....</b>	<b>226</b>
11-1	概述 .....	226
11-2	系统结构 .....	227
11-3	系统功能 .....	230
11-4	监控内容 .....	233
11-5	系统性能 .....	235
11-6	实例 .....	238
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>244</b>

# 第一章 概 述

## 1-1 国内外开关电源的发展

### 一、我国开关电源发展

通信电源是构成各种通信手段必不可少的组成部分,对确保通信质量具有重要的影响。因为通信设备发生故障是局部的,例如交换设备中用户电路故障,只影响某一具体用户,绳路故障,也只影响接通率下降,而电源发生故障时,则将会造成通信全部停止,故人们视通信电源为整个通信系统的核心,但过去我国对通信电源不够重视,没有专门从事通信电源管理和研究的机构,技术力量分散,情报闭塞。直到八十年代后期,邮电部加强了通信电源技术发展的各项工作,邮电部科技司组织制订了“通信基础电源系统设备系列暂行规定”和“通信局(站)电源系统和设备的可靠性指标暂行规定”等科技法规,颁布了“通信局站电源系统总技术要求”和有关电源设备行业标准等文件。计划基建司和电信总局重视在工程项目中优先审批采用先进技术的新电源设备,使通信电源专业的发展进入一个新的时期,由于邮电部的重视,我国于1993年第一次派代表参加在巴黎召开的“第十五届国际电信能源会议”。从这次会议感受到我国的通信电源发展缓慢,其中最主要的通信电源换流设备(包括整流器、逆变器,直流—直流变换器),与世界先进国家相比,差距较远,现将国内外开关电源的发展情况介绍如下:

1963年我国才开始研制采用可控整流器,到1965年才开始研制逆变器和晶体管直流—直流变换器,当时与发达国家相比落后五、六年。由于十年动乱,使研制工作停止不前,除可控整流器已在1967年开始形成系列进行生产外,其它进展十分缓慢,20kHz直流—直流变换器到80年代才开始生产应用,但质量很不稳定,一直到80年代后期,才第一批引进澳大利亚技术,48V50A(开关频率为40kHz)和48V100A(开关频率为20kHz)高频开关电源,这在当时,被认为是我国最先进的开关电源。自此以后,我国一方面派员参加各种国际学术会议,如国际通信能源会议(International Tele Communi—Cation Enexgy Conference)和佛琴尼亚电力,电子研讨中心(Virginia Power Electronic Center)简称VPEC,组织的国际学术研讨会,一方面吸收国外先进技术,在国内开发自己的开关电源,现在已有邮电部武汉电源厂、通信仪表厂、杭州侨兴,……等很多厂家正在吸取国外先进技术生产开发自己的开关电源,他们已经或逐步做到功能齐全,质量稳定,并能实行全智能,无人值守,基本上接近国际先进水平的产品。但由于我国配套工业落后,元器件没有过关还得依靠进口,故对发展还受到一定限制。

### 二、国外开关电源的发展

1955年美国罗耶(GH·Roger)发明的自激振荡推挽晶体管单变压器直流变换器,是实现高频转换控制电路的开端,1957年美国查赛(JJ Jen Sen)发明了自激式推挽双变压器,1964年美国科学家们提出取消工频变压器的串联开关电源的设想,这对电源向体积小和重量的下

降获得了一条根本途径。到了1969年由于大功率硅晶体管的耐压提高,二极管反向恢复时间的缩短等元器件改善,终于做成了25千赫的开关电源,这一电源的问世,在各国引起了强烈的反响,从此对开关电源的研究成了国际会议的热门课题。1976年美国硅通用公司第一个做出了SG1524单片集成的控制芯片,称为脉宽调制器。它除了使电源小型化之外,还大大提高开关电源的可靠性。

80年代初,英国研制了完整的48V成套电源,即在一个机架内包括:1.5kW整流单元五个;其他电源种类的直流—直流变换器;500VA的直流—交流逆变器;配电设备;气密型铅蓄电池组及利用8085微处理器组成的计算机系统进行监控管理。可以说,这是当时利用高频直流变换技术为主开发的新成果。1982年国际通信能源会议上,对这一成果发表的四篇文章,受到了普遍的重视。到了80年代后期,各种通信设备所需大量的直流变换器均以场效应功率晶体变换器为主。由于这种变换器适宜做成模块电源,由此使得机架电源可以适当分散,大功率换流设备在改进双极型器件与电路上有所发展。

由于功率电子器件及其应用在近几年内发展迅速,因而在通信设备与各种电子设备中,已得到普遍地大量采用,并已形成了一个专门学科及专业化生产群体,国际上已有多种专业刊物报道并举行年会等学术活动。

目前,世界上高频电源研究处于领先地位的有日本九州大学原田(耕介)研究室,美国佛罗里达理工学院及州立大学电子电力研究中心(VPEC),美国的MIT以及GE公司。1987年美国佛罗里达理工学院及州立大学电子电力研究中心Dr·Fred C·Lee提出要在2年内做出10MHz的电源,功率密度达 $3.7\text{W}/\text{cm}^3$ ,当前已做出了 $1.2\sim 2.2\text{MHz}$ ,100W的准谐振开关变换器。提出的多谐振变换器方案(MRC),被认为是改进QRC性能的一种新方法,频率有可能达到10MHz。1990年底做的实验模型:整个变换器的功率密度为 $3\text{W}/\text{cm}^3$ ,功率级的功率密度为 $6\text{W}/\text{cm}^3$ ,开关频率从2.5MHz变到3.85MHz,效率80%~83%。另外,多路输出的正激降压零电压式多谐振变换器,半桥式100W的多谐振变换和全桥式360W平均功率,1.5kW峰值功率的多谐振变换器均在1990年下半年做了出来。从中认为:多谐振变换器对于高功率密度的在线变换器和离线变换器是一种有前途的技术,多谐振变换器对电路的寄生参数的存在是不在乎的,并在高工作频率下不需要特殊的元器件或特殊的电路设计技术。

开关整流器采用的半导体器件主要有双极型晶体管和场效应管(MOSFET),双极型晶体管开关整流器属于早期产品,但由于双极型晶体管的导通电阻低,损耗小,技术成熟,可靠性高,在国外至今仍然使用,例如:法国电信在分散供电系统中目前采用的开关整流器只有25A,75A两种规格,全部采用双极型晶体管,变换频率为20kHz,使用效果良好。场效应晶体管是目前比较理想的开关元件,因为开关速度快,驱动电路简单,在开关整流器中应用最多,但是场效应管的导通电阻较大,导通压降较大,影响整机效率,为了克服这个缺点,有些厂家开始采用IGBT/MOSFET组合器件(并联使用),IGBT是一种新型半导体器件,其输入电路与MOSFET相同,输出电路与双极型晶体管相同,因此兼有MOSFET容易驱动和双极型晶体管导通电阻低的优点,如将IGBT与MOSFET并联使用,就构成了导通电阻低和开关损耗小的混合型开关器件。

目前国外电信电源中实际应用最多的开关整流器是采用PWM技术的MOSFET开关整流器,开关整流器的发展趋势是向高频大功率智能化发展,现在澳大利亚,加拿大,日本等国家可以生产200A的MOSFET开关整流器(模块);不过大多数发达国家生产的开关整流器的开关频率均为50kHz左右。

近年来采用更高频率的大功率 MOSFET 开关整流器也已问世。此外,采用谐振变换技术的 48V/200A 开关整流器也是目前典型的新一代大功率开关整流器产品,其升压变换级的工作频率为 70kHz,主变换器满载时最小变换频率为 150kHz,空载时最大变频率为 380kHz,采用风扇冷却,整机重量 32kg,体积为 400×178×460(mm),最大输出容量为 11.2kW(56V/200A),效率 90%,功率因数近似 1,在 600×600×2000(mm)机架内可装 6 台 200A 的整流模块,总输出容量为 1200A。

国外用于通信设备的机架电源的 DC/DC 变换器其变换频率一般为 500kHz 以下,输出功率为 300W 以下,这种 DC/DC 变换器技术成熟,可靠性高,效率高,应用十分广泛,更高频率的 DC/DC 变换器尚处于研究阶段,法国研制的 500W/1MHz DC/DC 变换器和韩国研制的 500W/2MHz DC/DC 变换器是典型的新一代 DC/DC 变换器,均采用谐振变换技术和零电压(ZVS)或零电流(ZCS)技术,其体积重量进一步减小,然而这种技术尚未成熟。

## 1-2 高频开关电源的组成

高频开关电源由以下几个部分组成,如图 1-1 所示:

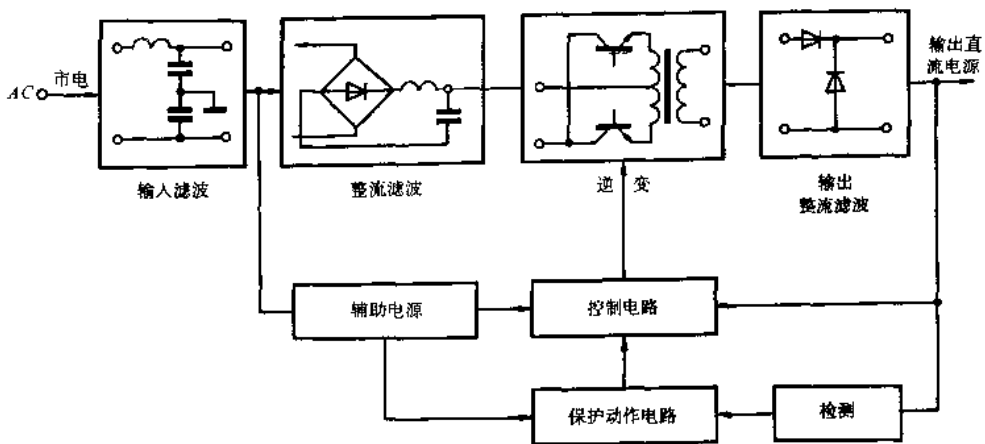


图 1-1 高频变压器开关电源电路原理方框图

### 一、主电路

从交流电网输入直流输出的全过程,包括:

1. 输入滤波器:其作用是将电网存在的杂波过滤,同时也阻碍本机产生的杂音反馈到公共电网。
2. 整流与滤波:将电网交流电源直接整流为较平滑的直流电,以供下一级变换。
3. 逆变:将整流后的直流电变为高频交流电,这是高频开关的核心部分,频率越高,体积、重量与输出功率之比越小。当然并不是频率越高越好,这里还涉及到元器件,成本,干扰,功耗等多种因素,将在本书以下几章叙述。
4. 输出整流与滤波:是根据负载需要,提供稳定可靠的直流电源。

## 二、控制电路

一方面从输出端取样,经与设定标准进行比较,然后去控制逆变器,改变其频率或脉宽,达到输出稳定,另一方面,根据测试电路提供的数据,经保护电路鉴别,提供控制电路对整机进行各种保护措施。

## 三、检测电路

除了提供保护电路中正在运行中各种参数外,还提供各种显示仪表数据给值班人员观察、记录。

## 四、辅助电源

提供所有单一电路所谓的不同要求电源。

### 1-3 高频开关电源的优点

高频开关电源的主要优点在于“高频”二字,我们从电工学中知道,铁心电路与无铁心电路的主要区别是:

铁心电路	无铁心电路
$\mu$ 大,不是常量	$\mu \approx 1$ 常量
$L$ 大,不是常量	$L$ 小,是常量
$\phi$ 与 $i$ 不成正比	$\phi$ 与 $i$ 成正比
除 $I^2R$ 铜损外还有铁损	只有铜损无铁损

为此铁心电路不能用视  $L$  为常数的公式,

如:  $e = -L \frac{di}{dt}$  等,只能用基本公式:

$$e = -W \frac{d\phi}{dt}$$

设铁心中磁通按正弦规律变化

$$\text{即: } \phi = \phi_M \sin \omega t$$

$$\text{则: } e_L = -W \frac{d\phi}{dt}$$

$$= -\omega W \phi_M \cos \omega t$$

$$= E_M \cos \omega t$$

$$E_M = \omega W \phi_M = 2\pi f W \phi_M$$

在正弦情况下:

$$E_M = \sqrt{2} E$$

$$\text{故: } E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W \phi_M = 4.44 f_w B_M S$$

式中  $f$  为通过铁心电路的电源频率。

$W$  为铁心电路线圈匝数。

$B_M$  为铁心的磁感应强度。

$S$  为铁心线圈截面。

以上公式是计算变压器和一切铁心电路匝数与所需铁芯截面的基本公式,从公式中不难看出频率越高,截面积可以设计得越小,如果能把频率从 50Hz 工频提高到 50kHz,即提高了一千倍,则变压器所需截面积可以缩小一千倍。下面我们来看一下高频开关电源与传统的相控电源相比有哪些优点。

1. 重量轻,体积小,适用于分散供电,与阀控式密封铅酸蓄电池配套,可放在通信机房。
2. 效率高,大于 90%(相控 60%~80%)。
3. 功率因数高,大于 0.92(相控 0.6~0.7)。

当配有功率因数校正电路的高频开关电源,功率因数近似于 1,而且对公共电网基本上无污染。

4. 稳压精度可高达 0.2%(相控 1%)。
  5. 噪音低,开关频率在 40kHz 以上,基本无噪音。
  6. 维护方便,因为开关电源是模块式的,可以在运行中更换模块,不影响通讯(而相控电源必需停机处理)。
  7. 实行  $N+1$  配套,可靠性高。
  8. 扩容方便,在初建时,可预计终期容量机架,整流模块可根据扩容计划,逐步增加,一般新增一个模块用 15min 即可投入运行。
  9. 调试方便,内设模拟测试电路,无需另配假负载。
  10. 配有微机控制,远端接口,组成智能化电源设备便于集中监控,无人值守。
  11. 对交流输入要求低,在三相严重不平衡时,甚至缺了一相,整流及系统仍能输出提供负载稳定的直流电(唯容量相应减小)。
  12. 自动化程度高,具有智能设备的性能一般相控难于做到的,开关电源均能做到。
- 由于高频开关电源有以上这些优点,必然将取代相控电源,这是在通信电源的一次革命。

#### 1-4 高频开关电源系统组合

从以上几节可知道,开关电源的优点很多,体积小、重量轻、扩容方便。因此与其它供电设备的配合也有所改变。现将由邮电部郑州设计院提供的技术要求,邮电部武汉电源厂(原 535 厂)、杭州侨兴电讯设备厂和青浦电源厂等厂生产的系统如图 1-2 所示,提供读者参考。

图中交流屏由两路进线,一路市电一路油机发电机(如有两路市电,则另一路是市电二路进线),两路进线可以自动倒换,也可由手工操作。交流屏除提供各路高频开关电源机架交流电外,还提供各通讯机房保证供电(即市电停供时自备电源)。直流屏是将整流模块输出及蓄电池组汇接在一起,提供负载可靠的直流供电,同时还提供整个供电系统的告警、保护用直流电源。

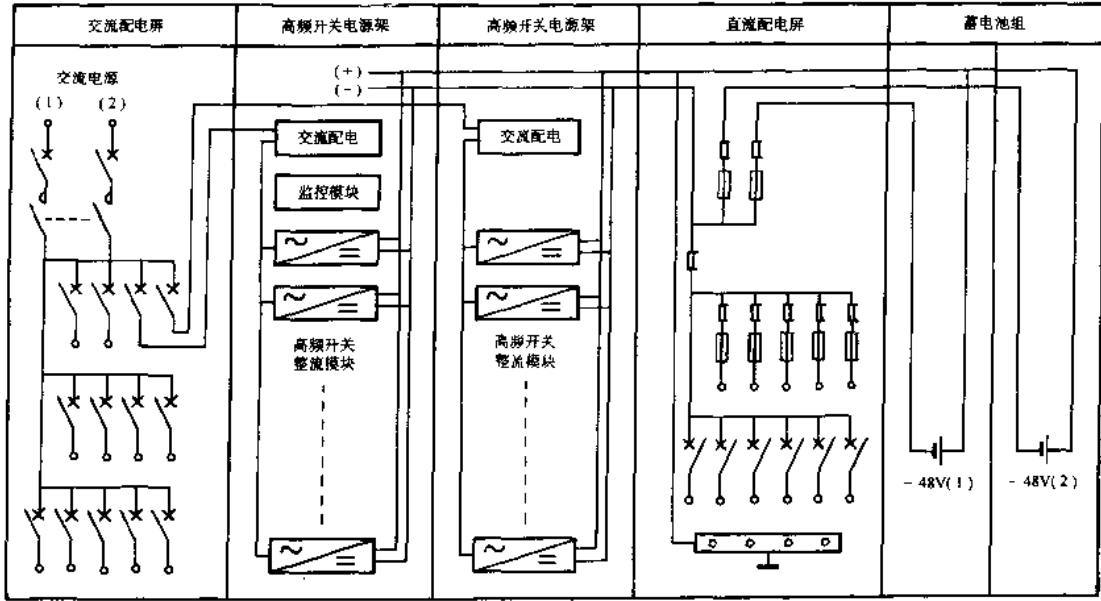


图 1-2 高频开关电源设备供电系统图

## 第二章 时间比率控制稳压原理和特点

### 2-1 时间比率控制稳压原理

#### 一、串联线性调整型稳压电源

图 2-1 是晶体管串联线性调整型稳压电源的示意图,输入电源  $E$  和输出电压  $V_o$  之间串联着一个可变电阻  $R_w$ ,在稳态条件下,输入电源  $E$  和输出电压之间,有下述关系:

$$V_o = E - I_L R_w \quad (2-1)$$

当  $E$  或  $R_L$  变化时,可以调整  $R_w$  的阻值,使输出电压  $V_o$  维持不变,这便是串联线性调整型稳压电源的基本工作原理,可变电阻  $R_w$  用晶体管取代,因为晶体管工作在输出特性的线性区,所以称为串联线性调整型稳压电源。

在这种电源里,输入电源向负载连续地提供能量,这是它的特点之一。

电压调整元件(串联功率晶体管)上的功率损耗可由下式表示:

$$P_T = (E - V_o)I_L = I_L^2 R_w \quad (2-2)$$

可见, $E$  和  $V_o$  之间的差值越大,流过晶体管的电流越大,则功率晶体管上的功率损耗也越大,稳压电源的效率就越低。

#### 二、开关型稳压电源

开关型稳压电源的示意图如图 2-2 所示。开关  $K$  以一定的时间间隔重复地接通和断开,在开关  $K$  接通时,输入电源  $E$  通过开关  $K$  和滤波电路提供给负载  $R_L$ ,在整个开关接通期间,电源  $E$  向负载提供能量;当开关  $K$  断开时,输入电源  $E$  便中断了能量的提供。可见,输入电源向负载提供能量不像串联线性调整型稳压电源那样连续,而是断续的,为使负载能得到连续的能量供给,开关型稳压电源必须要有一套储能装置,在开关接通时将一部份能量储存起来,在开关断开时,向负载释放。图 2-2 中,由电感  $L$ 、电容  $C_2$  和二极管  $D$  组成的电路,就具有这种功能。电感  $L$  用以储存能量,在开关断开时,储存在电感  $L$  中的能量通过二极管  $D$  释放给负载,使负载得到连续而稳定的能量,因二极管  $D$

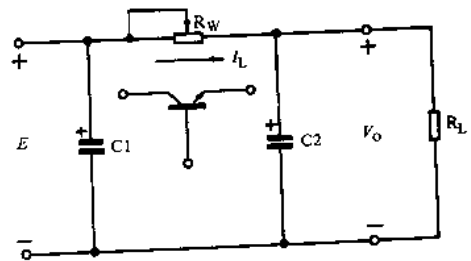


图 2-1 串联线性调整型稳压电源示意图

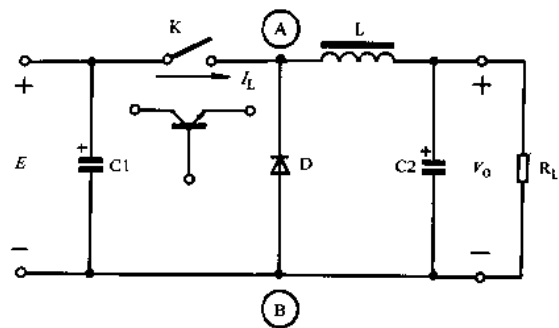


图 2-2 开关型稳压电源示意图



使负载电流连续不断,所以称为续流二极管。

在滤波电路输入端  $AB$  间得到的电压波形如图 2-3 所示,在  $AB$  间的电压平均值  $E_{AB}$  可用下式表示:

$$E_{AB} = \frac{t_{ON}}{T} E \quad (2-3)$$

式中  $t_{ON}$  为开关每次接通的时间,  $T$  为开关通断的工作周期(即开关接通时间  $t_{ON}$  和关断时间  $t_{OFF}$  之和)。

由式(2-3)可知,改变开关接通时间和工作周期的比例,  $AB$  间电压的平均值也随之改变,如图 2-3 所示。因此,随着负载及输入电源电压的变化自动调整  $t_{ON}$  和  $T$  的比例便能使输出电压  $V_o$  维持不变。

改变接通时间  $t_{ON}$  和工作周期比例亦即改变脉冲的占空比,这种方法称为“时间比率控制”(Time Ratio Control, 缩写为 TRC)。

用功率晶体管作为开关元件时有一定的开关损失,但比起串联线性调整型稳压电源来要小得多,尤其是在输入电源电压和输出电压之间差值较大时,更为明显。因此,开关型稳压电源有较高的效率。

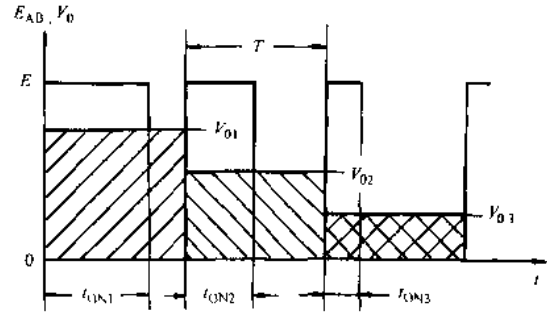


图 2-3 滤波电路输入端的电压波形

## 2-2 TRC 控制方式和特点

按 TRC 控制原理,有三种方式,即脉冲宽度调制方式、脉冲频率调制方式和混合调制方式。

### 一、脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, 缩写为 PWM)

脉冲宽度调制方式指开关周期恒定,通过改变脉冲宽度来改变占空比的方式。因为周期恒定,滤波电路的设计容易。但在实际情况下,受开关器件和控制电路的限制,在晶体管的开通时间内,有很小的  $T_o$  时间连续可调,将使输出电压不稳定,故在输出端必须要有一定数量的假负载。

### 二、脉冲频率调制(Pulse Frequency Modulation, 缩写为 PFM)

脉冲频率调制方式是指导通脉冲宽度恒定,通过改变开关工作频率来改变占空比的方式,因为  $t_{ON}/T$  可以在很宽的范围内变化,输出电压的可调范围较 PWM 方式为大,同时,只需极小的假负载。当然,滤波电路要能适应较宽的频段,因而,滤波器体积较大是其不足之处。

### 三、混合调制

混合调制方式是指导通脉冲宽度和开关工作频率均不固定,彼此都能改变的方式,它是以上二种方式的混合。 $t_{ON}$  和  $T$  相对地发生变化,在频率变化不大的情况下,可以得到非常大的可