

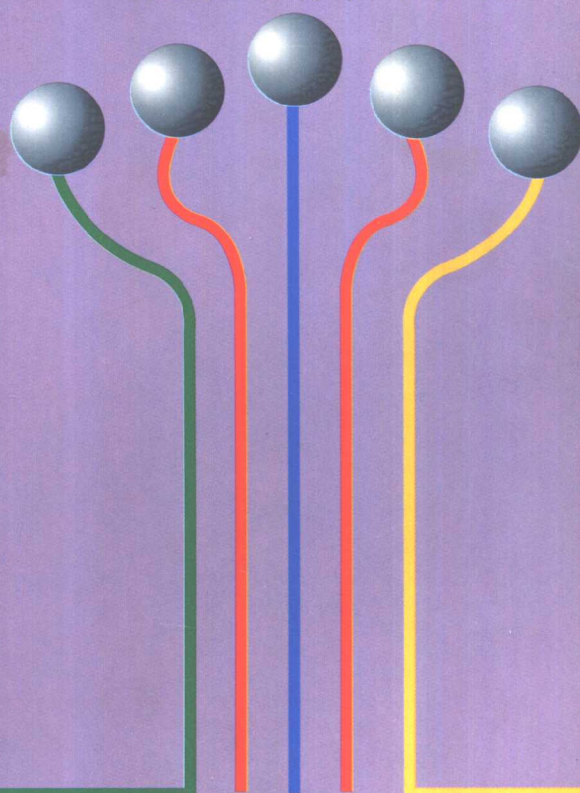
MOKUAISHIDIANYUANFENCE

实用电源技术手册

SHIYONGDIANYUAN
JISHUSHOUCE

模块式电源分册

分册 主编 / 刘选忠
分册副主编 / 杨拴科



辽宁科学技术出版社

实用电源技术手册

模块式电源分册

分册主编 刘选忠

分册副主编 杨拴科

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

986893

内 容 简 介

本书介绍了各种模块式电源的特点、内部原理框图、工作原理、主要性能指标、应用电路、抗干扰设计、测试、可靠性、热设计和以模块电源为基础的分布式电源系统设计。全书共分七章,包括:概论、DC/DC 功率变换模块、AC/DC 功率变换模块、DC/AC 功率变换模块、电磁干扰滤波模块、模块电源安全标准及 EMC 标准、模块电源常用性能指标测量方法、模块电源的可靠性、模块电源的热设计。利用书中所介绍的模块式电源及分布式电源系统设计方法,可以很方便地为电子系统配置最佳电源系统。

本书可供具有中专以上文化程度的电类工程技术人员阅读,也可作为大、中专学生扩大知识面和电源工作者知识更新的阅读材料,同时可供有关教师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用电源技术手册:模块式电源分册/刘选忠分册主编.

- 沈阳:辽宁科学技术出版社,1999.1

ISBN 7-5381-2877-8

I. 实… II. 刘… III. ①电源 - 技术 - 手册②
模块化 - 电源 - 技术 - 手册 IV. TM91 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 27011 号

辽宁科学技术出版社出版
(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)
朝阳新华印刷厂印刷 辽宁省新华书店发行

开本: 787×1092 毫米 1/16 字数: 239 千字 印张: 10 1/2

印数: 1 - 6 000

1999 年 1 月第 1 版

1999 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 枫 岚 符 宁 版式设计: 于 浪
封面设计: 庄庆芳 责任校对: 东 戈

定价: 20.00 元

《实用电源技术手册》编辑委员会

主任委员兼总主编 丁道宏 ✓

副主任委员兼副总主编 叶治政 李允武

委 员 (按姓氏笔画排列)

丁道宏 马凤兰 王其英 史平君 叶治政

李允武 李占师 刘选忠 张乃国 倪本来

《模块式电源分册》

主 编 刘选忠

副主编 杨拴科

主 审 叶治政

编 者 (按姓氏笔画排列)

王创社 刘选忠 张 辉 杨拴科 蔡红专

总 前 言

《实用电源技术手册》，这里的“电源技术”，是指采用功率电子技术，将一种（直流或交流）电源，变换成另一种或另一规格大小的电源技术。这种经过变换的电源，将能更好地适用于各种用电设备的不同要求。电能（源）经过功率电子技术处理，又能获得良好的节能效果。国外发达国家作为电源的电能，已有 80% 经过这种技术处理，节能效果达 15% 到 40%。预计到 2000 年经过处理再应用的电能将达到 95%。

近 20 年来，电源技术经过了迅速而又长足的发展。作为电源技术的关键元件——大功率半导体器件，从半控型的晶闸管，发展到可关断晶闸管（GTO）以及全控制型功率晶体管（GTR），绝缘栅双极型晶体管（IGBT），功率场效应晶体管。电源变换技术，也从开始采用线性变换发展到开关电源、高频开关电源；并且还有“硬开关”、“软开关”技术。功率等级也从几十瓦，发展到几十千瓦（伏安）或几百千瓦（伏安）。应用则涉及到计算机、通信、工业自动化、电子或电工仪器和家用电器等，几乎包括科学技术的各个领域和社会生活的各个方面。应用范围如此之广，一方面已形成了庞大的专业技术队伍，全国具有技术职称的专业人员，大约不少于 8 万人。这里包括研究、设计、生产、维修人员，其中中等或中等以上专业技术人员占多数。另一方面，也形成了广大的电源用户队伍。

《实用电源技术手册》的出版，正是面对当前这样的形势。《手册》将介绍不同种类电源的基本工作原理、单元的组成、性能与主要技术指标、典型产品的剖析介绍；电源的使用与维护、性能的测试要求与测试方法；不同类型电源的优缺点与适用场合、使用中应注意的问题，等等。对于某些电源，还介绍了一些基本的设计计算方法。这些内容，对于用户如何从型号繁多的各种电源中正确地选用电源，如何正确地使用与维护电源，无疑是会有很大帮助的。对于广大的维修人员也将是一本重要的可以直接借鉴的参考书。对于设计与研究人员，在电源技术的工程实践方面，包括：电源电路的方案选择、主要元件选用与基本计算和确定、加工与调试等，本书也希望能成为一本不可缺少的工具书。

《实用电源技术手册》采用按电源种类或专题，以《分册》形式陆续出版。现已确定的《分册》有：《电源元器件分册》，这是考虑到元器件是各种不同电源的基础；还有《交流稳定电源分册》、《不间断电源分册》、《模块式电源分册》等。将从 1998 年陆续出版。

本书的读者对象为具有电类中专以上水平，并有一定电源实际工作经验的工程技术人员，对于大专院校师生、业余电子爱好者都有参考价值。

由电源行业组织编写系统而又完整的《实用电源技术手册》，对于我们是初次尝试，限于水平，错漏难免，欢迎读者不吝赐教，批评指正。

《实用电源技术手册》总主编 丁道宏

1998.4

前 言

随着电子技术的发展,电子系统的应用领域越来越宽,电子设备的种类越来越多,对电源的要求也灵活多样。电子设备的小型化和低成本化也迫使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向。因而,传统的电源方案几乎无法满足现代电子系统的需要。同时,随着微电子技术的发展,电源电路的集成度得到很大提高,从而使电源电路极大的简炼化。与此同时,电源专业生产厂家也制造出了品种多样、规格齐全的标准化、系列化的模块电源。实际上,模块电源就是封装完好、品质优良的线性或开关稳压电源。它是由电源专业生产厂家采用优化的最佳电路,利用先进的制造工艺,制造完成的整体电源。对电源系统来讲,模块电源可作为一个电源元件考虑,使用时,不需要或只需要加助少量分立元件就可完成设计任务。令电源设计更简易。以模块式电源取代分立元件设计电源,好比以微处理机替代集成块设计电子线路一样,可以更加灵活快捷地完成系统设计,并可深入开发,既提高了质量和效率,又节省了人力、财力和技术投资。

本书从应用的角度出发,简要介绍了各种 DC/DC、AC/DC、DC/AC 功率变换模块的特点、应用范围及内部电路原理,以利读者掌握模块电源的特性;详细介绍了各种功率变换模块的性能指标、外接元件参数的选择及其使用方法。为了减弱电源对电网的污染,书中重点介绍了开关电源的噪声干扰源及抑制干扰的措施,给出了常用电源滤波器的电路图,并介绍了几种电磁干扰滤波模块的性能指标及使用方法。为了帮助读者正确选择及使用模块式电源,在简要介绍模块电源应该遵循的安全标准和 EMC 标准的同时,详细介绍了常用指标的定义和测试技术。又从提高模块式电源可靠性的角度,介绍了模块式电源热设计的方法并给出了设计实例。为了满足现代电子系统对电源的各种需要,还介绍了以模块电源为基础的分布式电源系统设计方法。

编者期望本书能对大、中专院校的学生在学习“电子技术基础”课程的基础上,起到扩大知识面的作用,对电类工程技术人员起到知识更新的作用,并帮助他们利用模块电源设计出最佳的电源系统。

本书在编写过程中,中国电源学会理事长丁道宏教授、副理事长叶治政教授等曾给予热情的指导和帮助;西安交通大学电信学院叶治政教授对本书稿进行了认真的审阅,并作出详细的评审和修改意见;腾讯科技亚太有限公司给本书提供了许多资料,该公司的董事总经理卢伟国博士对本书的出版给予大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中可能尚存不足之处,敬请同行专家、广大读者指教。

编 者

1998 年 5 月

目 录

第一章 概 论	1
1.1 概述	1
1.1.1 直流稳压电源的两大模式	1
1.1.2 现代电子设备对电源的要求	2
1.1.3 模块电源的特点	3
1.2 模块电源的应用	4
1.2.1 改善负载效应的方法	4
1.2.2 电源与各种负载的连接方法	5
1.2.3 去耦及旁路	6
1.2.4 电源模块的串、并联应用	7
1.2.5 输入和输出保护	8
第二章 DC/DC 功率变换模块	11
2.1 概述	11
2.1.1 DC/DC 功率变换模块选型索引	11
2.2 宽输入范围 DC/DC 功率变换模块	13
2.2.1 BXA 系列 DC/DC 功率变换模块	13
2.2.2 BXB 系列 DC/DC 功率变换模块	19
2.2.3 NFC 系列 DC/DC 功率变换模块	21
2.2.4 WR 系列 DC/DC 功率变换模块	27
2.3 额定输入范围 DC/DC 功率变换模块	32
2.3.1 PM 系列 DC/DC 功率变换模块	32
2.3.2 LX 系列 DC/DC 功率变换模块	35
2.4 非隔离型 DC/DC 功率变换模块	40
2.4.1 LWM 和 WF 系列 DC/DC 功率变换模块	40
2.4.2 3T 系列 DC/DC 功率变换模块	42
2.5 高输入电压 DC/DC 功率变换模块	45
2.5.1 PH 系列 DC/DC 功率变换模块	45
2.5.2 VI-200 系列 DC/DC 功率变换模块	51

第三章 AC/DC 功率变换模块	60
3.1 概述	60
3.1.1 AC/DC 功率变换模块的选型索引	61
3.2 含功率因数校正的 AC/DC 功率变换模块	62
3.2.1 功率因数校正的原理	62
3.2.2 DPF 系列 AC/DC 功率变换模块	64
3.2.3 PF 系列 AC/DC 功率变换模块	69
3.3 通用输入电压范围 AC/DC 功率变换模块	75
3.3.1 NAL 系列 AC/DC 功率变换模块	76
3.3.2 NFS 系列 AC/DC 功率变换模块	79
3.3.3 NLP 系列 AC/DC 功率变换模块	84
3.4 输入电压范围可选择 AC/DC 功率变换模块	88
3.4.1 XL 系列 AC/DC 功率变换模块	88
3.5 密封型 AC/DC 功率变换模块	93
3.5.1 PM 系列 AC/DC 功率变换模块	93
3.5.2 VI- AIM 系列 AC/DC 功率变换模块	95
3.6 作为外部电源的 AC/DC 功率变换模块	98
3.6.1 SCL 系列 AC/DC 功率变换模块	98
3.6.2 CL 系列 AC/DC 功率变换模块	100
第四章 DC/AC 功率变换模块	102
4.1 概述	102
4.2 SWG 系列 DC/AC 功率变换模块	102
4.3 4NIC - NB 系列 DC/AC 功率变换模块	110
第五章 电磁干扰滤波模块	113
5.1 抗干扰设计的一般方法	113
5.1.1 开关电源中的噪声干扰源	113
5.1.2 抑制干扰的一些措施	114
5.1.3 电源滤波器	115
5.2 电磁干扰滤波模块	117
5.2.1 VI- IAM 输入抑制模块	117
5.2.2 PN 系列电磁干扰滤波模块	119
5.2.3 PN- F 系列电磁干扰滤波模块	120
第六章 模块电源的测试及热设计	122
6.1 模块电源的测试标准	122

6. 1. 1 安全标准	122
6. 1. 2 电磁兼容性和 EMC 指令	126
6. 2 模块电源的主要参数测试	132
6. 3 模块电源的可靠性	134
6. 3. 1 可靠性的有关概念	135
6. 3. 2 “浴盆曲线”	136
6. 3. 3 MTBF 的计算	137
6. 3. 4 提高模块电源可靠性的方法	138
6. 4 模块电源的散热设计	140
6. 4. 1 热设计的一般步骤	140
6. 4. 2 热交换的基本原理	141
6. 4. 3 判断电源是否需要散热系统	143
6. 4. 4 自冷式散热器的选择和使用	146
6. 4. 5 强制对流下的热设计	149
6. 4. 6 设计举例	150
第七章 电源系统设计	153
7. 1 概述	153
7. 2 电源系统设计方法	154
7. 2. 1 集中电源系统	154
7. 2. 2 分布式电源系统设计	155
参考文献	159

第一章 概 论

1.1 概 述

电源是各种电子设备必不可少的重要组成部分。电源性能的优劣直接影响电子系统的性能指标。因此，电源逐渐成为一个相对独立的研究领域并蓬勃发展起来。

电子设备的种类繁多，不同的电子设备对电源的要求各不相同，例如，要求稳压、稳流、稳频等。目前，应用最广的是稳压电源。稳压电源包括输出直流电压和正弦交流电压以及其它波形的电压源。各种电压源的获得有不同的变换方法。目前使用的功率变换器可分为三种类型：AC/DC、DC/DC、DC/AC。它们分别适用于各种不同的领域。其中，使用最多的是前两种——即直流稳压电源。

1.1.1 直流稳压电源的两大模式

直流稳压电源，按其内部电路工作模式可分为线性直流稳压电源和开关直流稳压电源两大模式。线性稳压电源电路技术比较成熟，并且已有大量集成化的线性稳压电源模块产品（如：三端集成稳压器），使得线性稳压电源电路更为简洁。而且，它可以达到千分之几的电压稳定度和负载稳定度，纹波电压为 μV 级，没有电磁干扰和射频干扰。另外，还具有响应速度快、使用可靠、维修方便等特点。由于效率以及体积的原因，这种电源主要应用在小功率、对电源要求稳定度高、纹波小的电子设备中。

线性稳压电源通常都需要体积大而笨重的工频变压器作变压与隔离之用，滤波器的体积和重量也很大。而且调整管工作在线性放大状态，为了保证输出电压有足够的稳定范围，调整管上必须有一定余量的电压降，因此调整管功耗较大，电源效率很低。正是由于这种电源效率低，体积大，笨重等缺陷限制了它的应用范围。随着微电子技术的发展，集成电路得到了广泛应用，电子设备的安装密度越来越高，使电子设备向小型化、轻量化方向发展。从而促进了高效率、体积小、重量轻的开关稳压电源的迅速发展。

开关稳压电源中的调整管工作在开关状态，功率损耗小，效率可大于 75%，散热器也随之减小，开关频率在 20kHz 以上，滤波电感、电容可使用较小的元件，以及取消了笨重的工频变压器等诸多因素，使它发展成为一种小型化、轻量化、高效率的新型电源。

开关稳压电源的控制方式分脉冲宽度调制式（Pulse Width Modulation 缩写为 PWM）、脉冲频率调制式（Pulse Frequency Modulation，缩写为 PFM）以及脉冲宽度和频率均可调的混合调制式等几种，其中以 PWM 方式为最多。虽然说 PWM 型开关电源技术已趋于成熟，功率器件采用双极型晶体管时，工作频率可达到 20kHz，采用 MOS 场效应管时，

工作频率可达 500kHz，但是随着工作频率进一步提高，又出现了新的问题有待研究。传统 PWM 型变换器是在有电压和电流情况下，强制关断半导体开关器件，因此，开关器件在开通与关断瞬间需耗散大量的功率。同时，为了消除电路中出现的电压、电流尖峰，就需要在开关器件以及高频变压器两端加上尖峰吸收电路，这也要消耗一部分功率，结果导致电源效率下降。实践证明，PWM 型开关电源工作频率在 500kHz 左右或以下时，“频率提高，体积减小”这一结论一般是正确的。然而，当频率继续提高时，许多因素，如：电容器容量减小，使其处理交流电流的能力下降；磁性材料的功率损耗增加显著，同时电感值减小，为此需要更大的铁心以减小磁通密度来减少损耗；开关器件（MOSFET 等）和二极管的寄生电容以及隔离变压器的寄生电感引入更大的高频损耗；电压和电流的突变引起了严重的电磁干扰和射频干扰等问题，更为严重的是功率器件的开关损耗显著加大，整机效率将明显下降。

为了解决传统的 PWM 型变换器的上述问题，可采用谐振、准谐振、多谐振以及具有软开关的 PWM 型变换器。这些变换器吸收、利用了 PWM 型变换器中的寄生参数或外加电感、电容作为谐振参数，使变换器中的功率开关在零电压或零电流下开通和关断，开关两端的电压或经过开关的电流是正弦或半正弦波形（在正弦波形中 di/dt 和 $du/dt \leq 1$ ）。因此，大大减少开关的瞬间损耗和开关应力（即电压或电流的强激程度）以及电磁干扰和射频干扰，使其工作频率可进一步提高到 MHz 以上，效率达 90% 以上，再加上小型片状电子元器件（包括磁性材料，例如：平板型变压器等）的开发和表面安装技术（SMT）以及散热方式（如：冷基板技术）的改进，这就使电源系列化、标准化、模块化成为现实。

1.1.2 现代电子设备对电源的要求

现代电子设备常常是一个极为复杂的电子系统。这个复杂的大系统包含许多作用不同的功能块，每个功能块对电源的要求不尽相同。例如，模拟信号测量部分要求电源稳定度高、噪音低；数字信号处理部分则要求电源可靠、耐冲击性好。这是因为模拟电路对电源的稳定性十分敏感，数字电路是以高、低电平来传递和表示信息，因此对电源波动有较强的适应能力。当然各功能块对电源的功率等级、电压高低、电流大小都有不同的需求。随着电子设备工作频率的提高，系统的电磁兼容性受到严重关注，要求开关电源对电网波动的适应能力强，自身不会污染电网和产生有害的电磁辐射，输出电压要满足一定的净化要求（纹波电压、电磁噪声限制等）。在较大的电子设备系统中，安全可靠尤为突出。要求电源具有良好的保护措施，一旦因负载电路发生故障，电源能在遭到破坏前实行有效的自我保护；当电源内部发生故障时，能在负载系统遭到破坏之前进行关闭，从而使系统得到保护，并且能在额定负载条件下长期稳定工作。面对现代电子设备对电源系统如此复杂的要求，利用传统的集中式供电方式满足系统的要求是很困难的。

现代电子设备中更多地使用逐级稳压、分布式供电的电源设计方案。将一个复杂的电源系统按各部分所需的功率等级、电压高低、电流大小、安全可靠、电磁兼容性、电源各项技术指标等要求分解成若干个子系统，每个子系统可由若干模块来实现，每个

模块可根据实际需要选择合适电源。这就是模块电源得以迅速发展的必然性。

1.1.3 模块电源的特点

模块电源是指采用优化的最佳电路，利用先进的制造工艺，构成一个整体的结构紧凑体积小的高质量的线性或开关型稳压电源。电源系统设计者可把模块电源作为一个电源元件，使用时根据各自需要不外接或外接少量分立元件就可完成设计任务，令电源设计更简易。以模块电源取代分立元件设计方案，好比用微处理机代替集成块设计电子线路一样，可更加灵活快捷地完成系统设计及开发，缩短开发及更改设计所花费的时间，节省人力及技术投资。从可靠性来说，由于外部接线、焊点或连接点大量减少，可靠性明显增加。

世界各地从事模块电源研究、生产的专业厂家很多。现已面市的有 DC/DC、AC/DC（包括含功率因数校正的前端模块）、抗电磁干扰模块等许多系列。其输出功率范围从几瓦到几千瓦；工作温度从 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ ；输出结构有单路输出、双路输出、三路输出及五路输出；DC/DC 模块的输入电压范围为 $4 \sim 8\text{V}$ ， $9 \sim 18\text{V}$ ， $18 \sim 36\text{V}$ ， $36 \sim 75\text{V}$ ， $88 \sim 185\text{V}$ 及 $200 \sim 400\text{V}$ ；AC/DC 模块输入电压范围为 $85 \sim 264\text{VAC}$ ， $120 \sim 370\text{VAC}$ ；DC/DC 模块输出电压为 $2 \sim 48\text{V}$ ；AC/DC 模块输出电压为 $5 \sim 48\text{V}$ 及 $280 \sim 360\text{V}$ 不等。模块输出电压可以调整，模块并联运行中各模块之间可以精确地均流，模块还具有浪涌电流限制和各种检测及控制功能。为了确保整个设备在使用寿命期内以最佳性能连续工作，所有模块都不同程度地遵循和符合国际机构认定的标准：EN、IEC、UL、CSA 和 VDE。这些高质量的电源模块给电源系统设计者在更大功率密度、高可靠性、灵活性、提高效率、减少配电损耗、便于热管理、故障容许配置以及缩短上市时间等方面提供了很多方便。

综上所述，模块电源的特点可归纳为四性：即独立性、抽象性、互换性和灵活性。

独立性：模块电源的独立性除指功能的独立性外，也指模块的设计、制造、调试等过程可以独立进行。模块内部一般不与外界发生联系，电源系统中的各个模块的功能是明确的，具有一定的独立性。当把一个模块加到电源系统中或从系统中去掉时，只是系统增加或减少这一模块所具有的功能，对其它模块影响较小，或者没有影响。

抽象性：模块电源的抽象性是指电源系统设计者并不需要完全了解模块的内部电路，只需要知道模块的外特性就行。电源系统设计者，在系统的设计中或对系统进行改造的过程中，把模块作为具有特定功能的“黑匣子”来使用，使得即使没有模块电源内部电路设计能力的人，也能根据某些模块的功能和输入输出特性来进行系统的设计工作。

互换性：模块电源的互换性是指不同品牌而外特性一致的模块互换后不影响系统的功能和特性。

灵活性：模块电源的灵活性表现为，规格不同的模块可以构成多种配置方式，功能与特性覆盖范围相当大的成系列的电源系统。当一个电源系统增加或更换某些模块后就可以方便地使得性能与功能更新，而且同一功能的电源系统，可以利用不同类型的模块和不同的连接方式构成。

1.2 模块电源的应用

有些设计者往往认为电子设备开发的最后一项任务是简单的电源设计，只要选择正确的输入、合理的输出、适当的负载电流就算了事。实际上，这种简单的做法，有可能使整个系统产生振荡、出现各种干扰、使电源的调整性能变差、噪声增大、发生接地回路故障、散热能力不够等问题。下面介绍针对这些问题的一些处理措施。

1.2.1 改善负载效应的方法

负载效应定义为：空载或最小负载下的输出电压和满载输出电压之间的差值与满载输出电压的百分比。它表征了负载变化对电源输出电压的影响程度。电源与负载之间的导线电阻和接点上的接触电阻越小，对负载效应的影响越小。当负载电流较大时，很小的导线电阻和接触电阻也会对负载效应有明显的影响，因而很多大电流电源在内部调整电路的采样网络上设置一对引出端称之为遥测端。利用遥测端可直接检测负载两端的电压，减小导线电阻对负载效应的影响。

1. 尽量减少导线电阻及接触电阻

电源最简单的应用如图 1-1 所示。图中电源输出电压 5V，负载电流 4A。使用这种电源时，除了要选择所需要输出的电流及所需要的负载效应值外，应尽量减少电源与负载之间的导线电阻。例如，图 1-1 中使用 50cm 长的 18 号铜线，两根导线共有 $21\text{m}\Omega$ 电阻，因此，导线上就有 84mV 电压降，占输出电压的 1.68% 。如果电源本身负载效应值为 0.1% ，而在此电路中实际负载效应值为 1.78% ，达不到指标要求值。解决这种问题的方法是尽可能缩短导线长度或选择较粗的导线。影响负载效应的另一个重要因素是电源端与负载连接处的接触电阻，特别在大电流时更要注意。与上述负载导线过长一样，这些连接可存在几毫欧的接触电阻和几个百分点的负载效应值的变化。应记住一些重要参考数值：一个 5V 输出，从空载到满载有 5mV 变化，则负载效应为 0.1% ，一个 12V 输出，从空载到满载有 2.4mV 变化，则负载效应为 0.02% 。显然，大电流触点应适当处理与焊接。铲式接线片、香蕉插头等必须精心进行除锈处理。平面型电路板应为大电流负载提供几个并行接点，并保证干净。

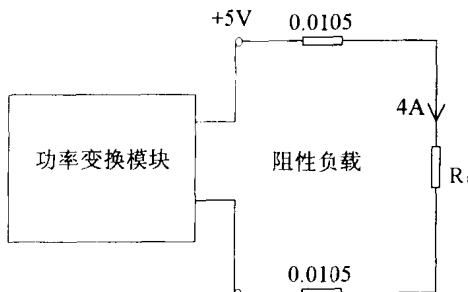


图 1-1 简单负载连接

2. 正确利用电源的遥测端

许多大电流电源都有遥测端（+S、-S）。遥测端可使电源内部调整电路通过检测线与负载相连，从而补偿大电流线路压降对负载效应值的影响。图 1-2 示出了电源遥测端与负载的正确连接方法。图中检测线与大电流负载线分离，遥测端直接检测负载两端电压。假如，大电流负载线上有 0.5V 压降，通过遥测端，电源内部调整电路将输出

电压提高 0.5V 补偿线路压降，保证负载电压在额定值上。一般电源可对负载线路压降补偿 1.0V 左右。这种方法就是利用提高电源输出端电压来维持负载两端有准确的电压值。遥测端与负载的连接线应屏蔽，以避免电磁干扰影响电源内部的调整电路。在电源内部，遥测端与电源输出端之间通常有一只电阻（如图 1-2 所示），如遥测端由于粗心而没有连接到负载端上，这只电阻可防止输出端电压上升过高。如果遥测端不用，应该分别与电源正、负端短接，这时电源工作在本地检测方式。

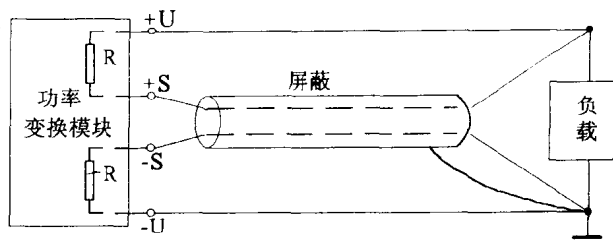


图 1-2 遥测端的接法

1.2.2 电源与各种负载的连接方法

1. 直接并行接法

电源与各种负载的正确连接是电源应用中的一个重要环节。图 1-3 是电源与几个负载并行联接的接线方法。图中，每一个负载上的电压与其它负载电压的大小和电源接地点有关。如果负载电流较大，在输电线路上的压降将会增大，使远离电源输出端的负载电压达不到要求，并且负载的变化将使输出电压的稳定性变差。除了负载电流很小，线路压降可以忽略外，这种连接方式不能使用。

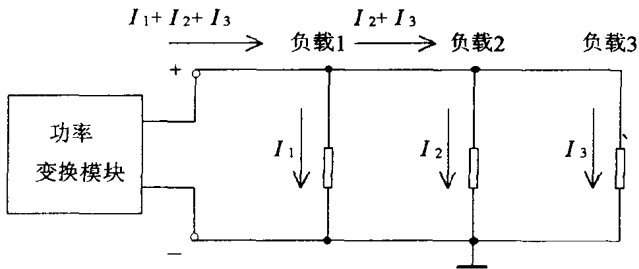


图 1-3 并行联接方式

2. 放射形接法

图 1-4 给出一种放射形的连接方法，这是一种比较好的接法。用一对粗导线将电源引出，每一个负载分别与它在同一点上相连接，各个负载之间基本上不存在相互影响的问题。

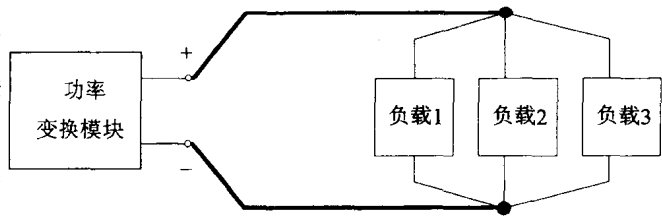


图 1-4 放射形接法

3. 混合连接法

当然，完全放射式连接是不现实的。但是应该尽量使用这种方式，特别对大电流负载更应如此。图 1-5 给出一种放射与并联组合连接方式。图中第一组负载电流较大，采用放射形连接，并且靠近电源输出端，第二组负载电流较小，线路压降可以忽略，采用直接并联方式，也可以离电源输出端远一些。

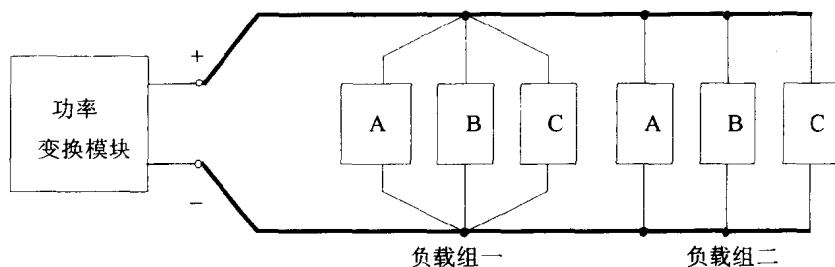


图 1-5 放射与并联组合方式

4. 模拟和数字电路

图 1-6 电路中模拟和数字电路同时存在。为了避免数字电路在电源地线上产生的噪声影响低电平模拟信号。因此，模拟电路和数字电路分别单独供电。两种电源地线和信号地线实现了单点接地互不干扰的格局。实际上，许多三输出端电源都有独立的数字（5V）和模拟输出（ $\pm 12V$ 或 $\pm 15V$ ）公共端，正好满足图 1-6 的意图。

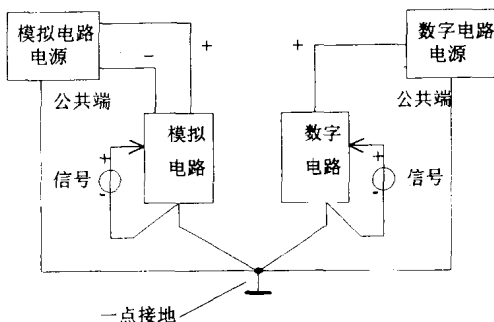


图1-6

1.2.3 去耦及旁路

所有的电源都有一些输出电阻和电感，电源引线也是如此。负载端的高频交流分量将会在电源的输出电阻和电感中产生压降而干扰其它电路，因而高速模拟电路和数字电路需要加上适当的去耦电路。图1-7所示的负载去耦电路适合于减小线路串联阻抗与杂散电容的谐振效应，同时也减小负载电流迅速变化在串联电抗中产生的尖峰对电子线路的影响。图 1-7 中给负载并联 $0.1\mu F$ 陶瓷电容和 $1\mu F$ 电解电容对中频和低频干

图 1-6 模拟、数字电路和电源单点连接

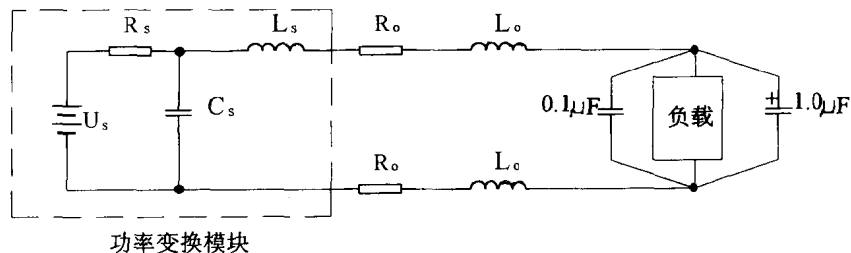


图 1-7 负载去耦电路

扰起到旁路作用，它将防止多个负载之间的串音。模拟电路和数字电路应该有各自的旁路电容。电容器不能简单地从每个电源端接到附近地线上。图 1-8 中旁路电容直接从电路中电源输入端连接到负载的公共端（或地）。电容器的连接最好用最短的导线。

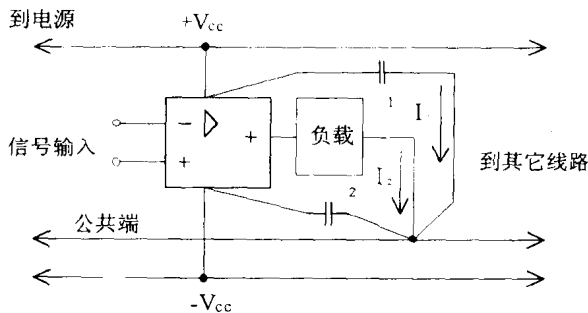


图 1-8 旁路电容的连接方法

1.2.4 电源模块的串、并联应用

1. 串联应用

一般来说，几个电源可以串联使用。然而，能否串联工作必须按照制造厂提供的技术资料来决定。对开关电源或变换器来说，一个电源的输出可能会影响另一个电源的反馈回路。一般情况下，两台电源的纹波电压不会同步，串联工作将会有附加的纹波电压。串联使

用的另一个限制条件是串联后总输出电压不能超过任何一个电源的击穿电压。如果不同电源串联时，串联后的最大输出电流等于额定电流最小的那台电源的额定电流。两台电源串联使用的电路如图 1-9 所示。图中每个电源输出端都并联一只反偏二极管，以免反向电压加至任一电源上，二极管的反向耐压应大于两个电源输出电压总和，平均电流应大于电源输出电流的两倍。另一种常用的串联方法是，将一台双输出电源串联作为一台高压输出电源，如图 1-10 所示。输出电压已经利用公共端串联，因此，它只能悬浮公共端，将负载直接与正、负输出端相连。例如，用这种方法获得 24V、30V 或 36V 电压，可以分别用 $\pm 12V$ 、 $\pm 15V$ 、 $\pm 18V$ 双输出电源来实现。

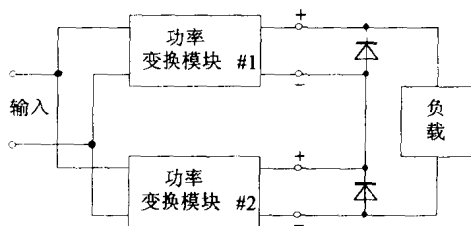


图 1-9 两台电源串联

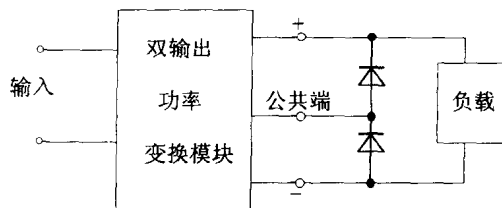


图 1-10 双输出电源串联升压

2. 并联使用

电源并联运行比串联运行更困难，一般不允许电源并联，除非特殊设计允许并联或者技术条件注明可以并联运行。并联运行中，两台电源要想提供同样的输出电流几乎不可能实现。两台固定输出电压的电源，尽管型号一样，也不可能恰好相等的输出电压，输出电压较大者将企图提供整个负载电流。即使输出电压可以调整到完全相等，各电源输出阻抗、温漂、时漂的差别将使两台电源的负载不平衡。图 1-11 给出一种电阻均流的并联方式。这种方法很难得到一个好的结果。因为输出端间微小的电压差将引起很大的电流失衡量。假定输出电压标称值为 5V，所带负载电流为 2A。当输出电压相差 0.2V，就引起输出电流的 100% 差值，这就意味着一个输出端提供全部负载电流。当输出电压差为 50mV 时也会导致输出电流 25% 失衡。然而，上述并联在少数应用中是可以利用的，但要注意两件事。第一，串联电阻严重地降低了负载效应值，本例中，负载效应值至少降低 2%（假定输出电流平衡）。第二，允许 50% 负载不平衡情况出现，也就是说，每个电源应该有能力提供 75% 的总负载电流而不是 50%。

有些特殊电源提供了如图 1-12 所示的主一从并联工作方式。主电源提供给辅助电源一个控制信号并且调整它的输出电流达到两台电源负载电流大致相等。另一种有效的并联方法是所用的电源在输出电流达到额定值时具有恒流特性。两台电源并联运行中，当其中一台电源工作在输出伏安特性弯曲点时，两个输出电压将相等。因此，其中一台电源提供它自己全部电流而另一台则提供总负载电流的剩余部分。

主一主并联技术是电源并联运行的最好方法。没有任何一台电源起主电源的角色，而是所有电源都在控制自己的工作状态。例如 CP 公司 BXA200 系列 DC/DC 变换器可工作在完全冗余和并联方式。主一从并联工作方式中，一旦主电源出现故障则整个电源系统将崩溃，而主一主并联技术则不存在这种危险。

3. 冗余技术

冗余技术是电源并联运行的一个好方法。图 1-13 给出两台电源冗余并联输入方式。为达到 100% 冗余，每一台电源必须能提供总的负载电流。在这种情况下，不存在负载均衡的问题。图 1-13 中两台电源输出端通过二极管并联，二极管允许其中一台失效时并不影响另一台电源继续给负载供电。这种方式常用于不允许电源出故障的重要场合。应该注意到，在不间断的直流供电系统中，其中一台电源可用电压相等的电池替代。

1.2.5 输入和输出保护

1. 交流电网和熔断器

交流电网连接：交流电网到电源有三条线：火线、零线和地线。在所有的电源和电子系统中，这些线应该正确连接，缺一不可，图 1-14 给出了正确的连接方式。

安全地必须总是连在电源和系统的底座上，在无电源底座的时候，例如开放式电源板，则应使用系统外壳和底座作为安全地。

熔断器或开关必须接在交流的火线上，以便当电源打开或熔断器熔断时，交流火线被断开。双掷开关断开火线和零线最安全。

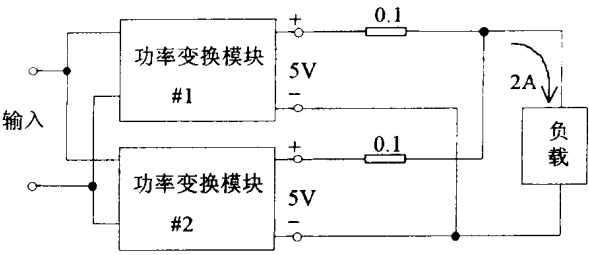


图 1-11 电阻均流并联工作方式

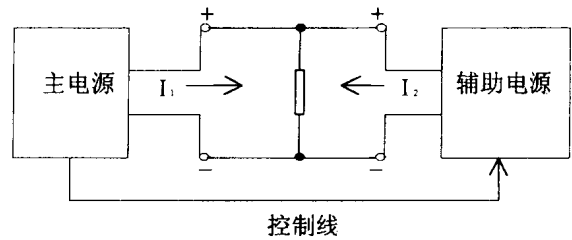


图 1-12 主一从并联工作方式

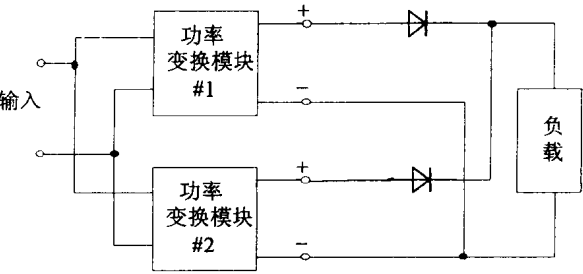


图 1-13 冗余并联工作方式