

计算机 电源系统的设计

王其英 编著



03
4/1

科学出版社

计算机电源系统的设计

王其英 编著

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书从系统设计的观点出发,介绍了计算机电源系统的设计。并从可靠性的观点出发,讨论了电源系统可靠性设计的现实性,由此提出了高可靠供电系统的实施方案。

另外,介绍了全无触点化控制保护系统和电源单元保护环节的设计步骤、温度与各种干扰对机器影响的抑制方法、各种供电方案的比较、机房地板的铺设和接大地的方法等。讨论中还给出了一些具有通用性的电路方案。

本书可供从事计算机供电工作的工程技术人员,大专院校电子专业的师生和其他从事电路工作的技术人员参考。

计算机电源系统的设计

王其英 编著

责任编辑 黄岁新

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年10月第一版 开本: 850×1168 1/32

1987年10月第一次印刷 印张: 9 3/8

印数: 0001—8,000 字数: 241,000

统一书号: 15031·847

本社书号: 4177·15—8

定价: 2.70 元

前 言

计算机在国民经济中占据着非常重要的地位，随着科学技术的发展、国民经济的繁荣，应用计算机的领域不断扩大。作为计算机能量来源的电源也相应地得到了发展。然而，由于计算机（尤其是大中型计算机）是一个相当复杂的电子系统，元器件种类繁多，各自对电源的要求也不一样，比如一般的 TTL 固体组件需要 5V 电源，而有的 MOS 存贮器则需要 +5V、+12V、-5V 电源，而且还要求 -5V 先加后去、在 -5V 失压时必须马上切断 +12V，实现这个功能就已超出了单个电源供电的范围。就是说，随着计算机速度的提高、容量的增大、功能的复杂等等，单个电源已不能靠简单的罗列来满足这些要求。再加上主机对电源的其它要求，就必须有一个完整的系统来应付局面。本书就是从系统的要求出发来讨论各功能部分设计的。

电源技术发展到今天，比起六十年代初期已有了明显的变化，串、并联稳压器，可控硅稳压器、恒压变压器、无工频开关电源，甚至 Cuk 电路* 之类的各种电源都已具有了良好的指标，足可供计算机选用，但供电系统的设计尚未普及。本书的目的就是讨论系统设计的必要性和现实性。

计算机对电源系统的要求，除应有合乎要求的供电质量外，还要求该系统能完成一些另外的功能。比如在多个电源应用时，用什么方式供电更为合适，如何改善动态性能，如何提高供电设备的可靠性，一旦电源某一部分出现故障时，如何及时检测与报警、指示，甚至如何保证在任一电源单元故障时仍能使计算机正常运转，以及能否在计算机正常工作的情况下对电源进行检测、维修甚至更换……，像这些问题在本书中都要逐一进行讨论。

* Cuk 为人名，因为他提出的电路独具特点，故以其名命名该电路。

为了与电源系统的控制保护相互配合,应在电源单元上适当地加一些功能环节以达到过、欠压保护与过流短路保护的目地.计算机电源多是低电压大电流,如 $2V400A$ 的单元,其过流保护必须在低功耗而不影响电压稳定度的情况下进行,书中提供了这类保护的多种电路方案.

不停电交流供电系统(UPS)正在我国得到初步的应用,但更多的仍在使⽤两套电网或电动发电机组或柴油发电机互相备用,以达到不间断供电的目的.然而,当两条交流电路互相切换时,由于机械开关的转换过程对计算机而言显得太慢,不能维持机器的连续运行,因此,本书针对当前情况提供了零压转换电子开关电路.

计算机应工作于无外来电磁和射频干扰的环境,即使采取了一定的措施,但由于机房本身的用电设备不断产生干扰,也会影响计算机的稳定运行,如机柜内散热风机的启停、照明灯具的开关、电烙铁的插拔以及吸尘器、干燥机、示波器等等的启动与停止都会产生火花,从而形成干扰机器的信号,书中对这些问题进行了讨论并提供了一定的预防与抑制方法.

机房地线由于接大地不好,而造成计算机被雷击的情况,因而接地问题不可等闲视之.但接地技术也是一个复杂的问题,尽管计算机机房接地不像发电厂、变电站那样严格,不过也应力求作好这件事,以免造成不可挽回的损失.本文介绍了与接地有关的一些知识,提供接地施工中参考.

计算机电源系统的设计为计算机可靠运行、提高使用率提供了有利条件.本书以国产百万次计算机DJS-265等为例,介绍了各环节设计的思想、方法及步骤,并提供了运行实例.本设计在我国重大工程中发挥了良好的作用.

微型机电源,一般品种和数量都少,而机器本身对电源大都无特殊要求,各电源单元之间的关系也很单纯,一般不构成系统,如有特殊要求,只要由本书保护系统电路中选用几个环节也就够了.

计算机用电源,现在一般已达到较成熟的阶段,而且各类电源

的专著正在陆续出版,因此本书不涉及具体电源的理论技术问题。

本书在编写过程中得到了华北计算技术研究所石钟伍同志、中国科学院计算技术研究所毛国华、方资端等同志的热情帮助和大力支持,对书稿提出了不少宝贵意见,在此表示谢意。

由于作者水平有限,本书一定还存在不少缺点和错误,希望读者给予批评指正。

作者

1984年6月于北京

目 录

前言	i
第一章 常用计算机系统的电源简述	1
§ 1-1 交流电源	1
§ 1-1-1 工业交流电——市电	1
§ 1-1-2 隔离机组	2
§ 1-1-3 不停电供电系统 UPS	4
§ 1-2 直流电源	6
§ 1-2-1 线性调整稳压器(连续调整式稳压电源)	6
§ 1-2-2 断续调整式稳压电源	8
§ 1-2-3 稳压变压器电源	11
§ 1-2-4 发电机式直流稳压电源	13
§ 1-2-5 多相直接整流式电源	13
§ 1-3 供电方式	14
§ 1-3-1 集中供电方式	14
§ 1-3-2 分散供电方式	17
§ 1-3-3 集中与分散相结合的供电方式以及三级接力供电方案的实施	18
第二章 供电系统的可靠性设计概述	23
§ 2-1 可靠性的几个概念与定义	23
§ 2-2 直流供电系统的可靠性设计	31
§ 2-3 高可靠直流供电系统(DCHRS)的建立	33
§ 2-3-1 元件的筛选与降耗使用	38
§ 2-3-2 三并联结构的比较	39
§ 2-3-3 单元并联结构及其续能源的引入	41
§ 2-3-4 高可靠系统的实施	44
§ 2-4 交流供电的可靠性设计	51
第三章 控制保护系统	60
§ 3-1 基本原理及电路结构	60

§ 3-2 主要环节电路介绍	65
§ 3-2-1 检测 I 与检测 II、检测 III	65
§ 3-2-2 感知器	68
§ 3-2-3 交流检测电路	72
§ 3-2-4 感知器工作状态检测	76
§ 3-2-5 机柜故障指示	83
§ 3-2-6 两个电源机柜的互锁	84
§ 3-2-7 保证机柜内的温度与碰地检测环节	85
§ 3-2-8 整流器故障检测器	87
§ 3-2-9 计算机“双工”供电	92
§ 3-2-10 供电系统的“高温”切断	94
§ 3-2-11 关于计算机电源电压的统调	97
第四章 直流稳压电源的控制保护	101
§ 4-1 直流电源的过流短路保护	101
§ 4-1-1 小电流直流电源的过流短路保护	101
§ 4-1-2 大电流直流电源的过流短路保护	127
§ 4-1-3 脉宽调制型(PWM)稳压电源的过流短路保护	141
§ 4-1-4 用其它元件构成的过流短路取样环节	156
§ 4-2 稳压电源电压的过欠压保护	183
§ 4-2-1 稳压电源的过压保护	184
§ 4-2-2 稳压电源的欠压保护	186
第五章 DJS 8050 计算机电源控制保护系统的设计概述(举例)	
及微型机简介	189
§ 5-1 系统简介	189
§ 5-1-1 设计要求及设计思想	189
§ 5-1-2 控制保护系统方框图	191
§ 5-2 主振电路(OSC)	193
§ 5-3 “on”, “off”电路、偏压转接控制与分频器	196
§ 5-4 顺序加去电控制电路	199
§ 5-5 状态电路	201
§ 5-6 5分钟分档定时与断电执行电路	205
§ 5-7 CPU——存贮器控制信号的交换	207

§ 5-8 微型机电源简介	208
第六章 计算机电源、控制保护系统的噪声及其抑制	211
§ 6-1 计算机机房的开关及火花干扰和抑制	211
§ 6-1-1 火花干扰形成的原因	212
§ 6-1-2 开关及火花干扰的影响实验	217
§ 6-1-3 开关及火花干扰的抑制	219
§ 6-2 计算机系统的其它噪声干扰与抑制	227
§ 6-2-1 噪声干扰及其对付的办法	227
§ 6-2-2 适当选择接地点及防止噪声进入电缆	229
§ 6-2-3 屏蔽与隔离	233
§ 6-2-4 滤波器	238
§ 6-2-5 防止泄漏	243
§ 6-3 其它	244
§ 6-3-1 交流指示与相序开关	244
§ 6-3-2 单相交流火线与地线错接的检测与转换	246
§ 6-3-3 机房地板	247
第七章 电源系统的接地	249
§ 7-1 大地的电学性质	250
§ 7-1-1 地的两种导电性	250
§ 7-1-2 大地和水的电阻率	255
§ 7-2 工频接地电阻	258
§ 7-2-1 接地电阻的物理概念	258
§ 7-2-2 地电阻率均匀时接地电阻的常用计算式	264
§ 7-2-3 人工改善地电阻率的方法	268
§ 7-2-4 利用自然接地体接地	274
§ 7-3 接地电阻的测量	276
§ 7-3-1 接地电阻测量的基本原理	276
§ 7-3-2 电流极和电压极的位置	277
§ 7-3-3 地电阻率的测量	281
附录	284
参考文献	287

第一章 常用计算机系统的电源简述

自从计算机问世以来，它的供电系统也同样经历了一段不平坦的道路。计算机是一部结构复杂、功能繁多的机器，为其提供能量的电源系统根据不同的要求有着自己的特点。开始只限于供电，而且对可靠性也无严格的要求，这一来是因为早期的机器速度低、结构简单，即使电源发生故障，而由于计算的题目小，可停机修理后再重新开始；二来是因为中央信息处理机所采用的元件远远多于电源，且元件的可靠性也不高，相比之下，电源比主机可靠得多。随着计算机功能的不断完善，运算速度的不断提高，集成电路尤其是大面积集成电路的出现以及机器处理的问题越来越复杂，为了保证机器可靠而稳定地在指定一段时间内正确无误地供电，电源的可靠性就提到日程上来了。在供电过程中，主机和电源如何连接最好，即采用什么样的电源、什么样的配电方式才能充分发挥各自的特点。因而对已往的计算机电源来一个简单的回顾，以便作为电源系统设计的参考。

§ 1-1 交流电源

一般说来，除化学电源外，多数电子设备的最初能源都来自交流，下面对各种交流电的来源作一简单回顾。

§ 1-1-1 工业交流电——市电

最简单的用电方法莫过于直接取自市电。有相当数量的计算机(主要是容量比较小的机器)采用了这种方法。但由于市电的负荷昼夜变动很大，加之节日与平时、冬季与夏季有着显著的不同，因而一天 24 小时电压变动幅度很大，甚至有的地区很惊人。

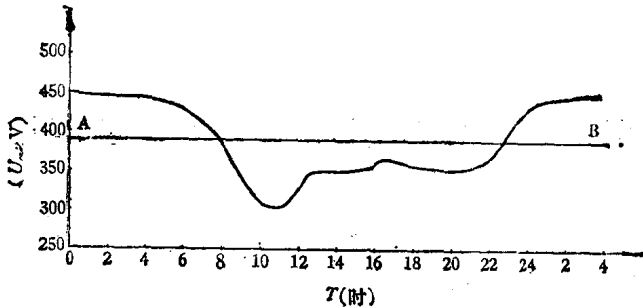


图 1-1 某地区市电电压昼夜变化曲线

图1-1所示的是某地区市电电压一个昼夜的变化曲线。比如在北京某郊区，在早晨八点时，由于工厂、企业的用电设备都在启动，使线电压降到了300V附近，在天黑时，由于照明用电的增多，一段时间内经常使相电压降到180V以下，导致电视机荧光屏上出现重复滚动的“亮带”（或称光条）。如果邻近有大型冲床或起重机械在工作，那么随机变化的大功率负荷会造成市电电压更为频繁的起伏，这就大大地加重了计算机稳压电源系统的负担。一旦变化幅度过大而导致稳压系统失调，计算机就停机，其外部设备的工作也会不正常。尤其是随机的脉冲干扰（诸如雷电、电焊、电车等形成的火花干扰）可直接通过电网滤波器、稳压电源而窜入计算机主电路，影响其正常工作。因而当计算机直接接电网时应该考虑到这些因素。

§ 1-1-9 隔离机组

为了解决上述矛盾，就在市电电网（以下简称电网）和计算机之间插入了隔离机组D-F，如图1-2(a)所示。电动机-发电机组D-F的输出电压频率在我国常见的有50Hz、400Hz和1000Hz；电压一般有单相110V、220V，三相通常为220V。隔离机组的引入切断了—切通过电网而来的工业干扰、天电干扰和其它利用该通路的干扰。另一方面，对于升频电机组来说，它可使后面的直流电源系统体积大幅度地减小。但升频却又提高了噪声强度，这就必须

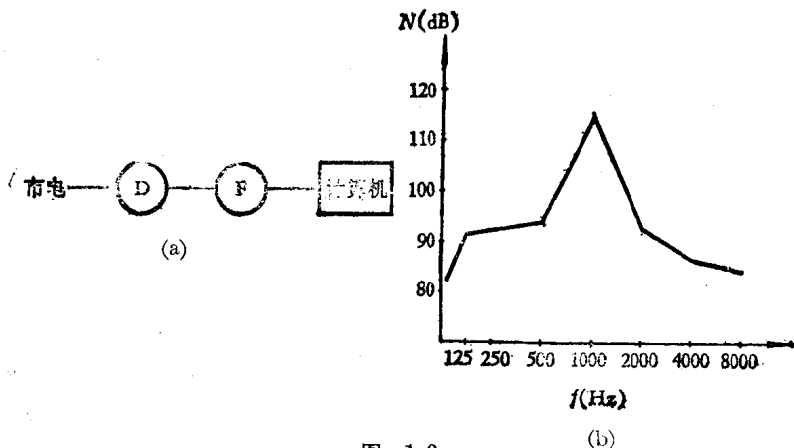


图 1-2

(a) 隔离机组示意图

(b) 噪声频率曲线

在相隔计算机机房一定距离的地方建立电机房，但这样又由于长距离的传输，而且在集肤效应下的馈线利用率降低，这势必造成沿路损耗的增大，而且也影响了发电机输出电压的动态调整性能。图 1-2(b)为针对 50 kW、1000 Hz、220 V 中频隔离机组而测的噪声频率曲线。在 1 m 处测得最大噪声为 113 dB，在同样的条件下，以 113 dB 为基准，而测得各频率的噪声都远低于这个值。在这样大的噪声影响下，妨碍着附近各项工作的安静。又测得像电机组这样的噪声主要来自风扇，而它的频率正好在 1000 Hz 左右，至于电机转子和定子的噪声是很小的。如果能把电机排出热风的噪声吸收掉，就会大大地改善工作条件。于是人们就利用吸音材料构成曲折迂回的风道来加长风在排出过程中的吸音距离与吸收效果，在风口上又加上一吸音与散音装置，这一套装置就是“隔音罩”。隔音罩在我国已有几家开始试用，效果良好。如上面谈的 50 kW 电机组，加罩后的噪音由 113 dB 骤降到 85 dB 以下，10 m 以外仅有 70 dB 左右，如果有一墙之隔，其值在 60 dB 以下，这就为计算机机房系统(包括电机房)的修建提供了方便。

当然，为了吸收噪声而在一定程度上阻塞了风道，妨碍了散热效果，因此，必须降低机房温度或使电机降耗使用。由此可见，加

罩与否,要视实际情况而定。

低噪声电机是从材料到结构原理进行了重新设计的机组。目前我国研制的 20kVA、400Hz 机组,其噪声已低到 70dB 以下。这就有可能将隔离机组移入计算机机房(这在国外已不少见,如美国的 IBM 370-158 计算机),从而降低了机房系统的造价,方便了维修手续,减少了值班人员。

为了解决旋转发电机组的噪声,有人试图用交流逆变器进行隔离,但由于它的输入能量是由电网直接整流而得,故仍不能完全隔离外电网的干扰,另一方面由于它的结构(包括电路)复杂,大功率逆变的冷却困难。与电机相比,逆变器的优越性并不大,故未得到推广。

油机发电机组只在无市电的偏远的地区(如海岛、沙漠)或特殊用途时才采用。

§ 1-1-3 不停电供电系统 UPS

不停电供电系统是由常用电源、不停电电源和备用电源通过转换开关组合而成。它们之间由一套逻辑电路进行控制,以保证在电网正常或停电状态下,整个系统都能可靠地工作。

不停电电源可分成旋转型和静止型两大类。

所谓旋转型不停电电源,是指由旋转发电机组组成的系统,这是不停电电源的早期形式,如日本从 1960 年到 1970 年主要用这种型式,特别是金融机关的联机系统更是如此,在这期间美国、英国主要用此形式,我国只在少数计算机上采用。

旋转型不停电电源的构成大致有以下几种:

(1) 用油机驱动备用发电机供电,以使在电网停电时供电不中断。

(2) 在电动发电机的轴上装一个大的惯性飞轮(又称惯性发电机组)。它一方面能克服电网的波动,提高了输出电压的稳定性;另一方面在电网停电时,可使电机输出电压和频率的额定值维持一段时间,供计算机作信息处理和顺序停电。维持时间的长短

决定于电机的容量和惯性飞轮的大小。一般惯性飞轮的直径为 $\phi 600-1100 \text{ mm}$ ，重量为 $170-1300 \text{ kg}$ ；而维持时间一般为 $100-1000 \text{ ms}$ 。

(3) 用直流电动机和蓄电池组来驱动发电机。在电网正常时，用电网交流经整流后驱动发电机组，同时对蓄电池充电；在电网停电时，由蓄电池组驱动发电机组，保证不停电。电池组的容量根据机器容量而定，小至几十安时，大至几百、几千安时不等。

(4) 由同步电动发电机组、逆变器和蓄电池组组成。当电网停电时，由蓄电池经逆变器变换后驱动发电机组，以保证继续发电。

第二类不停电电源是静止型的。这种不停电电源的一种组成如图 1-3 所示。在电网电压正常时，将交流输入经变压、整流、滤波后，变成所需要的直流电压送到逆变器，经逆变器变换、交流滤波变成所需频率和电平的交流电压供给负载。同时，逆变器部分还具有交流稳压功能。交流输入电压同时又送到充电装置，向蓄电池充电。当交流输入停电时，由停电检测电路控制转换开关，使其将蓄电池与逆变器接通，由蓄电池组向逆变器供电，保证交流供电不中断。当交流输入恢复时，它又自动地转换为交流输入供电。

比如还有的用油机发电机作为备用电源，而只把逆变器作为过渡电源。开始用电网直接供电，电网停电时，逆变器按原来的频率、相位、电平供电，同时启动油机发电机，待该电机输出达到要求时，将其切换上去，逆变器退出工作；待电网正常后，又将计算机切换到电网上，油机关机。这类不停电供电系统的方案和形式很多。用油机发电机作为备用电源，就要求其具有快速启动的功能，目前我国已作到启动时间在 10s 以下。不过，在近年来我国最常用的是用双电机切换的办法来达到不间断供电的。然而日本从 1970 年以后，就日本富士电机制造公司等六个公司看以功率为 $50-300 \text{ kVA}$ 的静止型电源为例，1971 年用于计算机供电的约有 50 台，1972 年为 70 台，1973 年为 100 台，就在这一年日本全国计算机台数为两万台，其中大型机配有不停电电源系统的约占 10%。在

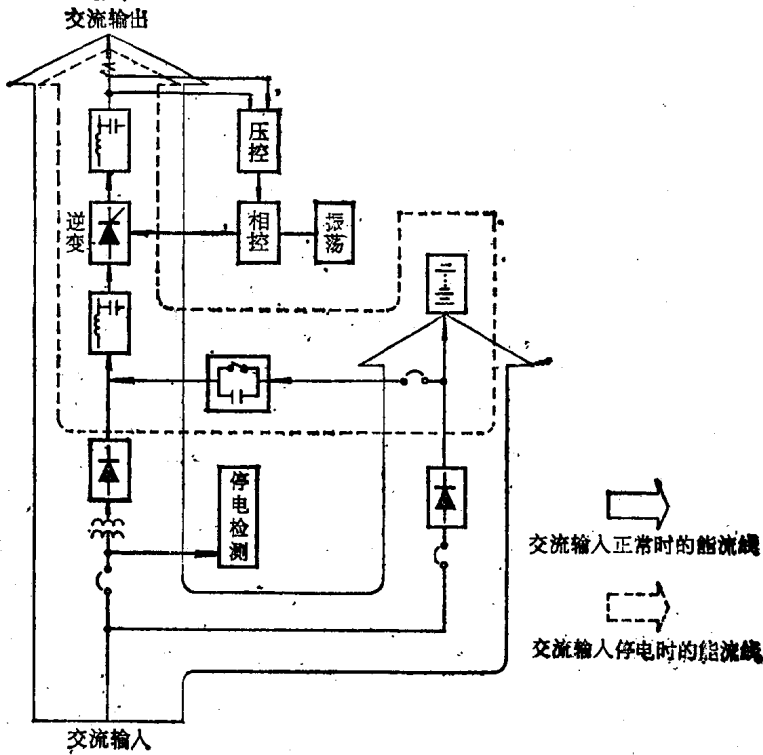


图 1-3 静止型静止不停电电源方框及能流图

这期间，美国 IBM 公司将 400 Hz、75 kVA 的不停电电源作为该公司的计算机电源。此后，不停电供电系统开始普及起来。

§ 1-2 直流电源

§ 1-2-1 线性调整稳压器(连续调整式稳压电源)

计算机都采用的是直流电源。初期的计算机大都用的线性调整稳压器(简称线性电源)。我国自 1963 年研制出第一台晶体管计算机 108 甲机以来，以后的 108 乙机、441B 等都采用了线性电源，甚至现在仍有相当数量的计算机在使用着它，如 IBM 370 系列就是这样。

线性电源具备着其它调整方式无法比拟的优点：稳压精度可以很高，比如万分之一的电源稳定度是不难作到的；它有连续调整的性能，而且输出纹波可以很容易地作到 1mV 以下，这是计算机各种数模(D/A)、数角(D/S)转换等所必须具备的。但是功耗大、效率低是它难以克服的缺点，这就限制了在大容量计算机上的使用。图 1-4 示出了线性电源的原理图，(a)是串联调整方式，(b)是并联调整方式。由图 1-4(a)所示，输入电压为输出电压 U_o 和 R_o 上的 U_g 之和，即

$$U_i = U_o + U_g \quad (1-1)$$

则输出功率

$$P_o = U_o I_o = P_i - U_g I_o \quad (1-2)$$

式中 P_i 为输入功率， I_o 为负载电流，于是效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{U_o I_o}{U_o I_o + U_g I_o} = \frac{U_o}{U_o + U_g} \quad (1-3)$$

由上式可见，调整元件 R_o 上的压降 U_g 越低，则稳压器效率 η 越高。然而作为调整元件的调整功率三极管的饱和压降值是不可改变的，一般硅管的出厂指标是小于 4V 或 4.5V ，为了在输入电压变化(下降)时有一个调整量，一般取 $U_g = 6-8\text{V}$ ，若 $U_o = 5\text{V}$ ， $U_g = 13\text{V}$ ，则

$$\eta = U_o / (U_o + U_g) = 5 / (5 + 8) \approx 39\%$$

而且 U_o 越低，则效率越低，但计算机电源发展的趋向是低电压，大电流，如 ECL 电路采用的电压就有 2V 和 1.25V 等品种。

为了提高电源的效率，电源工作者曾作了很多努力，比如对输入直流电压用可控硅、磁放大器或稳压变压器进行粗调，或选饱和压降小的元件作调整管，或改变电路结构(如用电流控制式的电路)、增加辅助电压等等，也取得了一些成效。但终因这种电路的原理决定了它的效率不会提得很高，使用受到了限制。

图 1-4(b)是并联调整方式，看起来在低压如 1.25V 时功耗会小，其实在降压电阻 R 上仍消耗大量功率，这在本质上和前者并无多大区别。

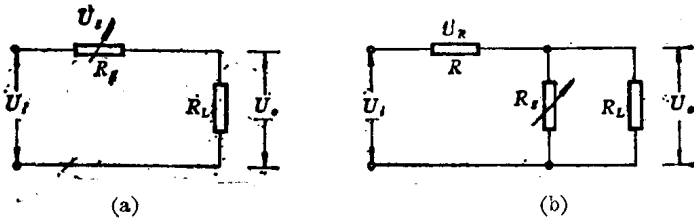


图 1-4 线性电源原理图

(a) 串联调整方式

(b) 并联调整方式

因此,采用这种稳压方式要权衡利弊。

§ 1-2-2 断续调整式稳压电源

为了降低调整元件上的功耗、提高电源的效率,断续调整式的电源逐渐进入计算机供电领域。图 1-5 就是这类电路的原理图与波形图。

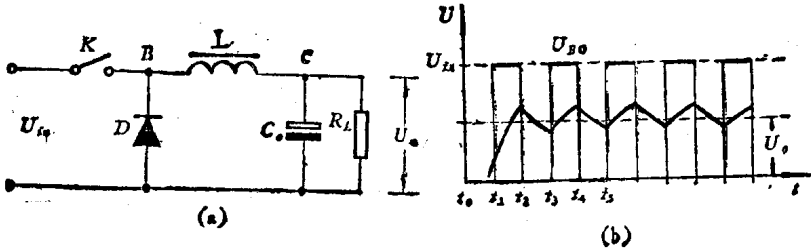


图 1-5 断续调整式稳压电源原理图及波形图

电路的工作原理如下:在 $t-t_1$ 时,开关 K 闭合, U_i 经过扼流圈 L 向 C_0 充电(同时向负载 R_L 供电),设在 $t-t_2$ 时, U_o 升至输出额定值上限, K 断开,这时 L 中贮存的能量通过 C_0 、 R_L 和泄放二极管形成放电回路,至 $t-t_3$, U_o 又降到额定值下限, K 又自动接通。就这样重复下去便形成了图 1-5(b)的波形。

由图 1-5(a)可以看出,消耗功率的元件是 K 、 L 和 D , 作为工程上的近似,首先不考虑 L 和 D 上的损耗,那么 K 上的损耗由三部分构成

$$P_K = P_{K_{on}} + P_{K_{off}} + P_{K_{comm}} \quad (1-4)$$

式中 $P_{K_{on}}$ —— K 闭合时在 K 上的功耗;