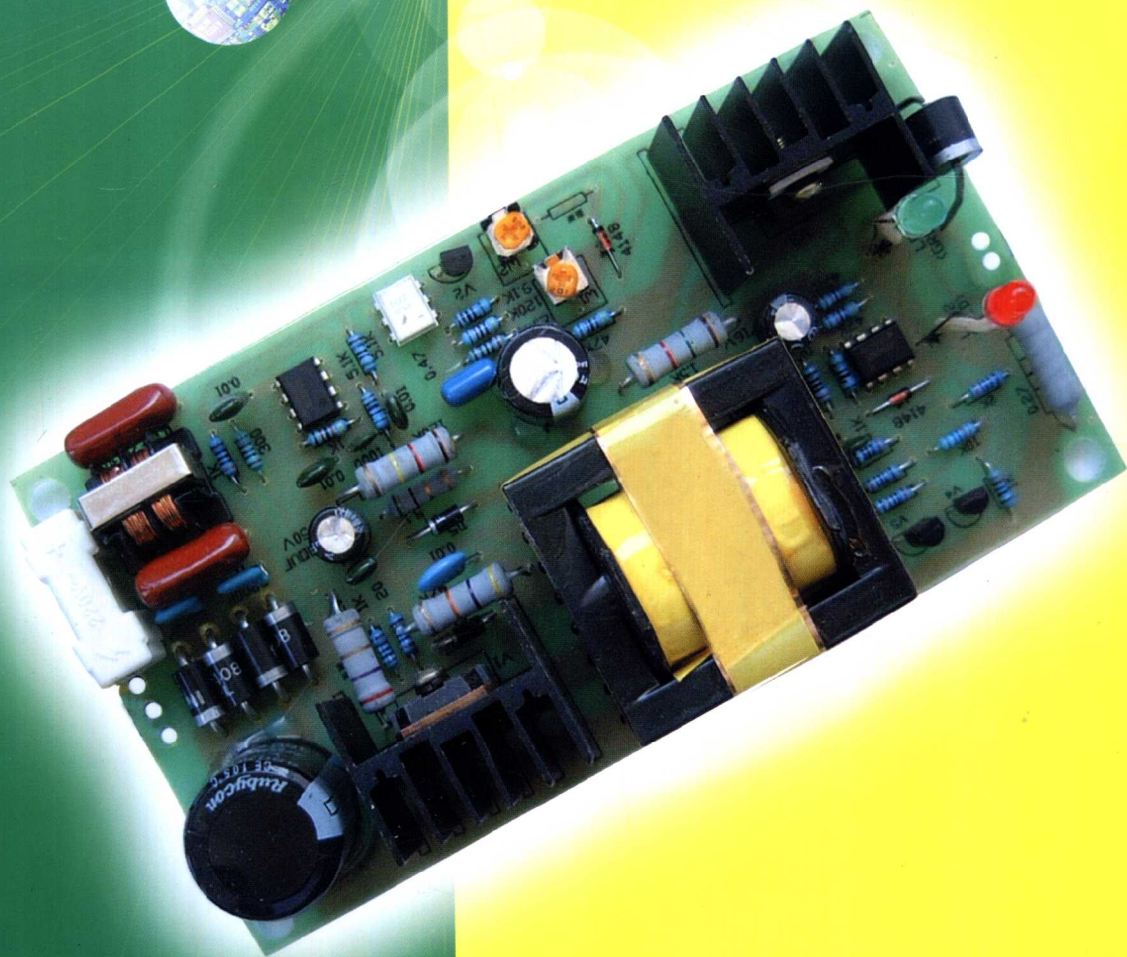


实用开关电源技术

● 郑国川 李洪英 编著



福建科学技术出版社

实用开关电源技术

郑国川 李洪英 编著

福建科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用开关电源技术/郑国川, 李洪英编著. —福州:
福建科学技术出版社, 2004. 1

ISBN 7-5335-2257-5

I. 实… II. ①郑…②李… III. 开关电源
IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 083192 号

书 名	实用开关电源技术
作 者	郑国川 李洪英
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州屏山印刷厂
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	17.75
字 数	440 千字
版 次	2004 年 1 月第 1 版
印 次	2004 年 1 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-2257-5/TN·295
定 价	26.00

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

电这种能源进入人们的生活以来，其应用日趋广泛。早期电能的应用，首先是在工业、交通等领域中，构成所谓的电工学领域。由于交流电在电工领域有传输、应用上的优势，所以直到现在，各国电力供应系统均以交流电进行传输。随后，由于电子器件的发展，电工学产生出分支系统——电子学，其应用范围不仅是电工领域，几乎涉及所有工、农业以及人们生活中，于是电子学变成主导系统，电工学似乎成为其中一个分支而已。

电工学扩展成目前的电子学以后，用电系统发生了极大的变化。比如，无论是早年的电子管，还是今天的半导体，都需要具有不同电压的直流供电。目前半导体电路已进入集成化时代，涉及范围几乎包括国民经济的所有领域，其中还包括原有的电工领域。为了使电子设备能够稳定地工作，供电系统中的电压和电流的稳定设备是必需的。

早期的耗能型直流稳压器，从电子管时代一直延续到 20 世纪 70 年代，其低效能和笨重的体积，使人们难以忍受。到了 20 世纪 60 年代，开发成功开关型稳压器（有的国家称为脉冲稳压器），使电子电器的供电电源产生了质的变化。20 世纪 70 年代初，开关电源即进入国外民用电器领域。而直到这一年代末，这种新型稳压电源才随着国外产品出现在国内市场。为了节约能源和有色金属，在 20 世纪 80 年代中期，发达国家已作出相应规定，除特殊产品外，所有民用设备和工业设备不准采用工频变压器和耗能型稳压电源。

开关稳压器以其节能、高稳定度、低成本得到快速发展，并普及于几乎所有的电子、电工设备中。目前，国际上开关电源技术还在快速发展，新型开关电源不断出现，其最高工作频率在 4MHz 以上的产品已模块化，体积减小到 $3.2\text{W}/\text{cm}^3$ ……20 世纪 80 年代前，国内的开关电源技术基本上是仿制和组装，自行设计的产品几乎为零。20 世纪 80 年代后，随中外合资企业的增多，引入相应的生产设备和产品也增多。但是，新产品的开发仍较落后。

开关电源作为电子学理论的一重要的、几乎独立的部分，在国内资料甚少，目前基本上只有两类，即对国外产品的工作原理分析和较早期的单纯开关电源的基础理论。这两类书刊几乎互不侵犯，基础理论是高高在上，而实际产品的工作原理就事论事，以至造成概念模糊，专业词语混乱，形成各执一词的现象。为此，我们换一种写法，尽量将基础理论与实际产品的原理拉在同一条线上，舍弃不切实际的空洞理论和实用性不大的计算，在开关电源系统介绍中，尽量以实用的最新的产品电路作为实例。

当然，要达到此目的并非易事，凭编者资历似乎力不从心，也许仅能起到抛砖引玉的作用吧！在此，希望同行和先辈多加指正。

参加本书资料收集、整理、文字录入、核对的还有江金林、邱国蓉、朱海、付岗、吴奇坤、张林、吴刚、何伟、董自良、董莹颖、黄玉彬、俸国良、廖南、高素清、郑冀蓉、李泉、李旭辉（排名不分先后）等，在此一并致谢。

编者

2003 年 6 月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 开关电源特点	(1)
1.2 开关电源存在问题及目前解决方案	(1)
1.2.1 开关频率的提高	(1)
1.2.2 开关波形的改善	(2)
1.2.3 开关电源的高度集成化	(3)
1.2.4 开关电源的瞬态特性	(3)
1.3 开关电源种类	(4)
1.3.1 输入/输出不隔离的开关电源	(4)
1.3.2 输入/输出隔离的开关电源	(5)
1.3.3 集成化/模块化开关电源	(5)
1.3.4 特殊类型的开关电源	(5)
第二章 自激式不隔离开关电源	(6)
2.1 降压式不隔离开关电源工作原理	(6)
2.2 自激降压型开关电源典型电路	(6)
2.2.1 自激降压式开关电源的性能	(8)
2.2.2 自激降压式开关电源的保护电路	(9)
2.3 自激型降压开关电源变形电路	(10)
2.3.1 扩大降压比的方案	(11)
2.3.2 自激式开关电源的强制同步	(12)
2.4 自激降压型开关电源器件集成化	(16)
2.4.1 直接输出端分压取样的厚膜集成电路	(16)
2.4.2 间接取样不隔离开关电源的厚膜集成电路	(17)
2.5 自激升压式不隔离开关电源	(18)
第三章 输入/输出隔离开关电源	(20)
3.1 自激式隔离型开关电源基本电路	(20)
3.1.1 隔离开关电源取样隔离控制电路	(22)
3.1.2 自激隔离开关电源稳压性能的改善	(23)
3.1.3 自激式隔离开关电源的保护电路	(26)
3.1.4 大屏幕彩电开关电源两例	(27)
3.1.5 计算机“外设”的开关电源	(36)
3.2 非周期性隔离开关电源	(40)
3.2.1 RCC型电源的基本原理	(41)

3.2.2	RCC 开关电源的应用实例	(42)
3.3	自激隔离型开关电源集成化器件	(45)
3.3.1	自激隔离型开关电源厚膜集成电路的基本形式	(45)
3.3.2	隔离型开关电源厚膜集成电路的性能改善	(46)
3.3.3	RCC 型开关电源厚膜集成电路及应用	(49)
第四章	单端他激式开关电源	(54)
4.1	不隔离的他激降压型开关电源	(54)
4.2	MC3842 组成隔离他激式开关电源	(56)
4.2.1	MC3842 组成显示器开关电源	(56)
4.2.2	不隔离升压型开关电源	(58)
4.2.3	有源 $\cos\phi$ 改善电路	(62)
4.3	欧美新型单端驱动器及其应用	(64)
4.3.1	主从式开关电源及驱动器	(65)
4.3.2	摩托罗拉的 MC44603	(68)
4.3.3	西门子的新型逐周控制集成电路 TDA4601 和 TDA4605	(71)
4.3.4	飞利浦的他激启动自激工作的新型驱动控制电路	(76)
4.4	日本三肯单端驱动器	(81)
4.4.1	STR-S6708/6709	(81)
4.4.2	STR-M65 \times 系列	(84)
4.4.3	福日 AP7M 投影机的开关电源电路原理	(85)
4.5	单片他激式开关电源	(90)
4.5.1	TOP 傻瓜型内部功能和工作原理及运用	(91)
4.5.2	STR2000 系列开关电源厚膜集成电路	(93)
4.5.3	单片开关电源 LM25 \times 系列	(94)
4.5.4	SGS 公司的单片开关电源 L49 \times 系列	(96)
4.5.5	低压他激式单片开关电源 μ A78S40	(99)
4.5.6	低压单片开关电源 MC34063	(101)
4.6	低电压大电流开关电源同步整流技术	(103)
4.6.1	通用驱动器组成的同步整流电路	(103)
4.6.2	有同步整流功能的专用集成电路	(106)
4.7	移动电子设备电源集成电路	(109)
4.7.1	MAX744A	(110)
4.7.2	MAX767	(111)
4.7.3	有模式控制的 CMOS 低功耗集成电路	(112)
4.7.4	MAX782 和 LTC1149 的应用	(113)
4.8	特殊用途他激开关电源	(116)
4.8.1	飞利浦多频彩显的超高压稳压电路	(116)
4.8.2	常规行脉冲驱动超高压变换器	(120)

第五章 推挽式和桥式开关电源	(124)
5.1 自激式推挽变换器基本电路	(125)
5.2 饱和式变换器性能改善	(126)
5.3 自激半桥式和桥式开关电路	(127)
5.3.1 自激半桥式变换器的组成	(129)
5.3.2 自激半桥式变换器存在的问题	(132)
5.4 推挽式和桥式开关电路双端输出驱动集成电路	(133)
5.4.1 双端输出驱动集成电路 SG1524 及 UC3524 组成的低压开关电源	(133)
5.4.2 SG3524 组成的高压开关电源	(136)
5.4.3 UC3524 在 UPS 中的应用	(138)
5.5 双端驱动集成电路 TL494 及其应用	(139)
5.5.1 TL494 组成推挽式微机开关电源	(141)
5.5.2 TL494 用于自激启动他激式微机开关电源	(144)
5.5.3 TL494 用于高压卤素灯镇流器	(148)
5.5.4 矿井用高压直流输入开关电源	(150)
5.6 桥式开关电路新技术及集成电路	(153)
5.6.1 新型半桥式开关驱动器 IR2112	(153)
5.6.2 有自振荡电路的半桥驱动器	(155)
5.7 谐振式开关电源	(159)
5.7.1 低通滤波式谐振变换器	(160)
5.7.2 并联谐振原理在变换器中的应用	(161)
5.7.3 半桥谐振式调频开关电源	(164)
5.7.4 谐振电路在镇流器中的应用	(169)
5.7.5 他激式半桥变换器组成的镇流器	(171)
第六章 开关电源元器件特性与选择	(173)
6.1 开关器件选择	(173)
6.1.1 双极型开关管	(173)
6.1.2 MOS FET 管的优势	(175)
6.1.3 开关管的选择与应用	(176)
6.1.4 晶闸管及其在开关电路中的应用	(180)
6.1.5 光耦合器和精密稳压源的性能及应用	(181)
6.2 开关电源中无源元件选择	(184)
6.2.1 电容器的主要参数与工作频率的关系	(184)
6.2.2 各种电容器的性能	(185)
6.2.3 电阻及 NTC 的选用	(187)
6.3 磁心及脉冲变压器	(189)
6.3.1 磁心材料及外形	(189)
6.3.2 单端反激式开关电源脉冲变压器的计算	(190)
6.3.3 推挽式和桥式开关电源脉冲变压器的计算	(192)

6.3.4 脉冲变压器的绕制工艺及检测	(193)
6.3.5 储能电感和滤波电感	(195)
第七章 开关电源典型电路分析	(197)
7.1 专用开关电源电路	(197)
7.1.1 CATV 基站集中供电开关电源	(197)
7.1.2 分散供电的 CATV 放大器开关电源	(199)
7.1.3 220V/110V 电子变压器	(201)
7.1.4 电动自行车的铅酸蓄电池充电器	(202)
7.1.5 晶闸管逆变器组成的矿井用变换器	(205)
7.1.6 晶闸管电动机节能控制器	(209)
7.1.7 微型开关电源组成交流适配器	(215)
7.1.8 大功率超声波加工机	(217)
7.2 LCD 投影机开关电源	(223)
7.2.1 夏普 XV-110ZM LCD 投影机主电源电路	(224)
7.2.2 夏普 XG-3781E 投影机主电源电路	(227)
7.2.3 夏普 XV-3400S/S LCD 投影机主电源电路	(231)
7.2.4 夏普 XG-3790E LCD 投影机主电源电路	(235)
7.3 国外金属卤素灯电子镇流器	(240)
7.3.1 镇流器和电子镇流器	(240)
7.3.2 夏普 XG-7000 LCD 投影机电子镇流器	(242)
7.3.3 夏普 XV-530H 投影机电子镇流器	(246)
7.3.4 夏普 XG-3790E 投影机电子镇流器	(251)
7.4 有设计缺陷彩电开关电源电路分析	(255)
7.4.1 泵电源	(256)
7.4.2 元器件参数选择欠妥的隔离型开关电源	(259)
7.4.3 不适应环境的彩电——汤姆逊和沙巴	(263)
7.4.4 单电源待机电路的优胜劣汰	(267)
7.4.5 晶闸管应用的误区	(271)

第一章 概述

1.1 开关电源特点

传统的耗能式稳压电源，实际上是通过串联或并联于负载电路中的耗能元器件，以改变其能耗大小稳定负载的电压。当负载电压升高时，耗能电路等效电阻增大，使负载上电压降低；相反，当负载电压降低时则减小电阻耗能，提高负载电压。因为在稳压范围内，耗能电路工作在线性区，其压降在此范围内正比于输入电压的升高，反比于负载电流的增大或减小，所以又称为线性稳压电源，或者相对于目前的数字电路，也可称其为模拟稳压电源。

耗能式稳压电源的耗能是必须的、不可避免的，因为其稳压过程是通过耗能大小实现的。正因为如此，这种稳压器稳压范围越宽，输入/输出压差越大，耗能也就越大，这是显而易见的。220V市电整流后输出300V的直流电，想经此类稳压器输出稳定的5V、12V低压直流电是不可能的事。耗能型低压输出稳压器必须与工频变压器配套使用，造成稳压器体积、重量增大，同时还增加了额外损耗（变压器的铜损和铁损）。

开关稳压器的出现，彻底改变了稳压器的稳压概念。顾名思义，开关稳压器是通过开关动作，使连续的直流电变成间断供电的脉冲，再通过储能滤波元件，将不连续的脉冲变成连续的直流电。只要控制开/关的时间比即可改变输出电压，再通过输出电压的变化控制开/关动作时间，即可使输出电压稳定。很明显，如果此过程中开/关具有理想特性，应该没有损耗，开关时间比的变化范围可以很大。因此，开关稳压器直接将300V直流电稳压输出5V也是可能的，省去了工频变压器，这是开关电源的最大优点之一。目前的开关电源最高效率已达到95%，功率体积比达到 $3.2\text{W}/\text{cm}^3$ ，与同输出功率的耗能式稳压器比较，有色金属材料的耗用量降低90%以上。目前开关电源种类极多，性能差距极大，但各有优势和专用领域，所以很难在具体数据上与耗能稳压器进行比较。本书将在每种特殊用途的开关电源中介绍其特点与应用领域。

1.2 开关电源存在问题及目前解决方案

前几年出版的有关开关电源的书刊，在提到开关电源时总要列出一系列相对于耗能式稳压器所特有的缺点。但随着开关电源技术的迅速发展，这些缺点不断被融入的新技术、新器件所改进。

1.2.1 开关频率的提高

在开关电源中，提高开关频率可以更有利于发挥优势，更有效抑制纹波。但是，直到20世纪80年代，开关电源的工作频率大都未超过40kHz，一般为15~25kHz。提高开关电源频率，首先遇到的难题是受到开关管开关速度的限制。用双极型开关管的开关电源，其

PN 结在正向导通时，载流子不断向对方区域扩散，使对方区域载流子有相当数量的存储。当加入反向电压时，开关管存储的电荷在继续扩散的同时，空穴与电子复合，在存储电荷消失之前开关管不会截止。存储时间结束，靠近 PN 结附近的多余载流子中有少数已消失，开关管电流开始减小。当开关管截止时，发射结和集电结均为反向偏置，三极管基区无自由电子，集电极电流为零。如果使发射结正偏电压达到 0.7V 以上时，正偏电压首先给发射结电容充电，逐渐抵消 PN 结内电场，才开始向基区发射电子。因此，整个过程使三极管导通有一延迟时间，电子发射到基区以后，在基区路程长度内，一面向集电区扩散，一面与空穴复合而消失。此过程中，在基区存储一定数量的电子，最后达到对应所需集电极电流的密度，才使开关管导通。该过程占用的时间称为脉冲上升时间。另外，双极型三极管还有脉冲下降时间。由此可见，双极型三极管构成的开关并非理想，上升时间、存储效应都形成开关损耗。工作频率越高，上升时间和存储时间与其周期相比越接近，损耗也就越大，甚至来不及在下一个周期到来之前关断，造成连续导通而损坏开关管。尽管目前开关管制造工艺使基区做得较薄，降低了此类损耗，但双极型三极管开关频率仍难以突破 40kHz。

目前，此问题由于肖特基二极管、场效应开关管的开发而得到解决。肖特基二极管利用金属与半导体接触的能量势垒形成整流效应，其正向特性优于 PN 结二极管。它具有较小的正向压降，即使用于最大整流电流时，正向压降也仅在 0.3~0.5V 以内。而普通二极管均在 0.7~1V 之间。此外，肖特基二极管通过多数载流子导电，无存储效应，其反向恢复时间比普通二极管快两个数量级，比快恢复二极管还快一个数量级。

场效应开关管则为电压控制器件，不含有少数载流子，也就不会有少数载流子形成的存储时间，其关断时间可小到几十 ns，比双极型三极管小 10 倍以上。目前采用肖特基二极管作脉冲整流，场效应管作开关器件的一般民用开关电源，其工作频率均在 200kHz 以上。而美国的军用电源模块，已使开关频率达到 4MHz 以上。开关频率的提高，首先使开关电源的体积和质量大幅减小。工作频率为 4.4MHz 的模块化开关电源，输出功率 160W，体积只有 11cm×5cm×1cm，质量不足 150g。此外，开关频率的提高还为纹波输出的降低提供了有利条件，高频率纹波可以通过更简单的滤波器获得较小的纹波。

1.2.2 开关波形的改善

开关管的开关波形为近似矩形波，它具有丰富的高次谐波，尽管提高了开关频率，其输出高次谐波的干扰仍难以彻底滤除。谐波频率的提高，虽然使滤波电路相对简单，但是，高次谐波通过电路向空间的辐射相对较严重，影响了开关电源在某些特殊场合的应用。为此，目前大力研究开关波形为正弦波或准正弦波的开关电源。

准谐振式开关电源经数年的研究后，目前已进入电子产品市场。目前，日本的彩色电视机中已有大量机型采用准谐振式中功率开关电源。准谐振式开关电源的基本工作原理是：开关电源的开关电路形成的矩形波，不直接向负载供电，而作为 LC 谐振回路、衰减振荡的能量补给，经过 LC 电路振荡过程、LC 之间能量的转换，使脉冲波变成正弦波。由于负载电路使振荡的波形衰减有所改变，当负载电流较大时，正弦波形造成失真，故而称为准正弦波。此类开关电源的开关管通/断均在正弦波过零或接近于零处进行，不但使开关损耗减小，也消除了矩形波上升沿和陡峭的下降沿造成高次谐波干扰。此项技术已进入实用阶段，本书将在有关章节以实例详细介绍。

1.2.3 开关电源的高度集成化

尽管各种控制功能完善的他激式开关电源在理论上早已成熟，但真正在中、小型设备和民用电器中得到推广、应用，还是在 20 世纪 90 年代，开发了大量开关电源驱动集成电路以后。原有的用分立件组成的保护功能完善的他激式开关电源，即使输出功率 100W 左右，其元器件也多达 150 只以上，电路组装、调试工艺之复杂，令人望而生畏。其后虽然生产了部分小规模他激式驱动器，元器件也在 100 只左右。因此，只有在大功率开关电源或高档电子器材中，才采用他激式开关电源。随着集成电路制造技术的进步，低驱动功率场效应开关管的出现，目前的他激式开关电源变得和自激式电路同样简单，其性能则远在自激式开关电源之上。

大规模集成电路的使用，减少了开关电源的元器件，使开关电源体积减小，相对的使高次谐波辐射的屏蔽问题得到解决。以日立公司 CTP216D 彩电开关电源（20 世纪 70 年代生产）为例，其中有半导体器件 21 只，无源元件 50 只以上。而 20 世纪 90 年代，飞利浦公司开发的他激式开关电源驱动控制集成电路 TDA4605，其元器件包括开关管在内不到 20 只，即可组成最大输出功率 200W 以上，性能却比上述开关电源优越得多的宽电压范围开关稳压器。

目前集成电路技术的进步，还将大量开关电源的新技术集成于内部。飞利浦公司开发的他激式启动自激式运作的新型开关电源、逐周控制的开关电源驱动器，以及美国摩托罗拉公司开发的有同步整流控制功能的开关电源驱动器、频率调制的准谐振式开关电源驱动器等新型集成电路。其中特别值得重视的是，IR 公司开发的半桥式集成化驱动器，这种用于半桥或全桥式开关电源驱动集成电路，采用半导体集成电路技术，成功地解决了不用驱动变压器组成半桥、全桥式电路的方案。在此之前，市场上的计算机开关电源，在其半桥式开关变换电路中都采用脉冲变压器驱动方式。这种驱动变压器体积小，要求严格加工，调试极为困难。在输出功率超过 300W 的开关电源中，驱动变压器是必不可少的部件。而 IR 公司的此项技术，只需一只 8 脚封装的集成电路，即可解决无调试的生产工艺，且其输出两路波形时序相位准确、相互隔离度达到 600V 以上。此类集成电路配合 MOS FET 开关管，使得千瓦级的开关电源调试生产工艺大为简化。

1.2.4 开关电源的瞬态特性

这里所说的瞬态特性，系指负载电流突然变化时开关电源稳压过程的瞬态响应特性。所有的开关电源都是通过控制输出脉冲的脉宽或占空比控制输出电压的。在一固定的负载电流中，输入电压不变时，开关脉冲有一固定的占空比。当输入电压降低或负载电流增大时，开关脉冲占空比增大，抵消输出电压降低。很明显，此控制过程有一定的时间延迟。当输出电压降低时，经取样电路反馈到脉冲调制器，不管是增大脉冲宽度还是增大占空比，都得从开关管关断后的下一开关周期开始，而且还需经过储能电感的存储与释过程。如果负载电流是冲击性增长，且时间极短，短到可与开关周期相比拟，那么，在负载电流增大瞬间过后，开关电源才增大磁场存储能量，待此开关周期中开关管截止后，储能电感才释放出适应大负载电流的能量。如此结果，在瞬间大电流冲击开始时输出电压有所下降，大电流冲击过后，负载电流恢复正常，因而开关电源输出电压出现瞬间升高，要下一个周期才能恢复正常。这就形成负载电流或输入电压瞬间变化，在开关电源输出端形成一负一正双向脉冲，出现在开关频率的两个周期上。这种现象形成开关电源负载电路中额外的噪声，同时使得要求能快速

提供瞬间大电流脉冲的设备难以应付。即使是目前开关电源的逐周控制技术，对此也无能为力。开关电源工作频率提高以后，对瞬间响应改善有提高，但仍有时间延迟。因为无论如何，磁场释放能量和存储能量不可能同时进行。

神通广大的开关电源在电子器材中无所不入，例如高级计算机中，甚至导弹导航控制系统都有开关电源的身影。但仅此这一项缺点，却使其在音响器材中丧失了阵地。当然，这是对开关频率在 40kHz 以下的开关电源而言。音响的瞬间冲击声，如果在还原过程中产生少许延时，是瞒不过“金耳朵”的。更何况，瞬间冲击声不但被延时，还因为开关电源的能量未及时补给产生的额外削顶失真，冲击声过后，电源能量补给又姗姗来迟，给音响造成不该有的冲击噪声。

开关频率 40kHz 以下的开关电源，其纹波频率产生复杂的干扰噪声，诸多高次谐波与音乐高音混合，差拍进入人耳可听的频率范围，使音响效果大受影响。所以至今，世界各国名牌音响是开关电源不能涉入的一个禁区。至于 4MHz 以上开关频率能否解决上述一系列问题，至今尚无报道。但是有一点是肯定的，再高的开关频率也达不到工频变压器和大滤波电容组成的随要随取的程度。此外，即使高频率开关电源的上述干扰不易被“金耳朵”觉察，电源的高成本和复杂的纹波滤波设备对音响这一民用娱乐品来说是否值得，也是不得不考虑的事。

1.3 开关电源种类

近几十年来，开关电源的电路技术发展极快，种类越来越多，且各种电路的变化也大。若按原有的分类方式，不足以概括电路的全貌。例如自激式和他激式的区分方式，在原有电路中区别是明显的，但目前的自激启动他激工作开关电源，以及最近飞利浦公司开发的他激启动自激工作的逐周控制开关电源，单纯说属于自激式或他激式，似乎都不全面。另外还有串联型和并联型开关电源的分类方式，以往都是按开关管与负载电路的连接方式区分的。但严格地说，这种连接方式的区分不是电路的主要特征。最近，此方面专著中，有专家提出，应该以开关电源输入/输出电路是否隔离来区分。本人也认为这种分类方式比较合理，能真正概括电路全貌。

1.3.1 输入/输出不隔离的开关电源

此类开关电源的特点是，输入供电和稳压输出电压是不隔离的，一般情况下是两者共地。根据输出电压和输入电压的关系，不隔离的开关电源又分成降压式、升压式、极性反转式等几种：

降压式不隔离开关电源，其电路特点是，输入电压、开关管、储能电感和负载串联连接，开关管的开关动作将输入直流电变为断续的脉冲。因此，有些国家称为斩波式开关电源或电流断续型开关电源（Chopper Circuit）。

升压式不隔离开关电源，其电路特点是，输入电压、储能电感和负载是串联的，但开关管通过储能电路与负载并联。

极性反转型开关电源，其电路特点是，既可升压也可降压，同时输出电压与输入电压极性相反，有时可同时输出正负两种电压。根据输出电压极性的不同，电路连接方式也有区别。

开关电容型开关电源，其电路特点是，用电容作为储能元件进行能量转换，实现升降压变换。此类为近年发展起来的新型开关电源，多为小功率设备提供特殊供电。

在不隔离的开关电源中，有自激和他激两种类型。在此类开关电源中，多采用脉宽调制方式稳定输出电压。

1.3.2 输入/输出隔离的开关电源

此类开关电源特点是，输出电压与输入电压是隔离的，同时 I/O 之间有较高的抗电强度，电路的隔离是通过脉冲变压器的初/次级实现的。因此，又称为脉冲变压器耦合的开关电源或并联型开关稳压器。但是，目前此类开关电源并非像理论上所称并联型开关电源一样，开关管直接并联在负载上，所以称为隔离型开关电源较适当。此类开关电源电路变化较大，简单区分有以下几类：

单端自激型。开关管即为自激振荡管，在间歇振荡过程中完成通/断控制。开关管和次级整流电路实际构成 DC/DC 变换器，由输出电压控制 DC/DC 变换器的输出电压构成开关电源。因此，又称直流变换器型开关电源。

单端他激型。有独立的脉冲发生器和控制电路，输出可控脉冲，控制开关管的通/断，构成他激式直流变换过程。输出电压取样后作为控制驱动脉冲，实现输出电压的稳定。

半桥式、桥式变换器组成的隔离型开关电源。无论自激或他激，半桥式的两只开关管串联于供电电路中，中点接入脉冲变压器。两管受控于时序不同的驱动脉冲，轮流导通/截止，在脉冲变压器中形成相位不同的脉冲，双向对称脉冲以全波整流方式向负载提供稳定电压。桥式电路的四只开关管桥式连接，对臂的两个中点之间接入脉冲变压器（负载电路），四只开关管分别驱动，使对臂两只开关管轮流导通/截止，在脉冲变压器中形成双向对称脉冲，全波整流后向负载供电。半桥式电路最大输出功率可达 500W，桥式电路可达 500W 以上。若采用开关管并联使用方式，可组成更大功率的开关电源。

1.3.3 集成化/模块化开关电源

此处不是指开关电源的某一部分或某一功能的集成化或模块化产品，而是指全部电路部分（除脉冲变压器以外）。目前已有小功率 TOP 型他激式集成电路开关电源，最大输出功率可达 100W 以上。外围元件极少，除次级整流电路外，全部集成于一块芯片上。两类开关电源均采用输入/输出隔离的电路结构。

模块化开关电源为厚膜式工艺结构，脉冲变压器也同样采用厚膜工艺。此类开关电源工作频率较高，输出功率可达 300W 以上。只要在输入端接入 300V 直流电（高压电池供电、直流发电机供电，或市电经整流器形成的直流电压），次级即可输出稳压的低压直流电。

1.3.4 特殊类型的开关电源

非周期性 RCC 型小功率开关电源，原文直译为振荡阻塞型变换器开关电源。该电源用于小功率供电，不仅电路简单，同时还能适应负载的较大幅度变化。

谐振式开关电源，利用 LC 谐振原理改变开关电源的波形，使其成为正弦波。目前实用电路为串联谐振型，既可采用脉宽控制，也可采用频率控制实现稳压功能。这是目前发展极快且有发展潜力的一种类型。

以上各种开关电源的原理、电路变化、性能以及选用范围，都将在本书中作详细介绍。

第二章 自激式不隔离开关电源

不隔离的开关稳压器，实际上是将输入电压经开关管控制后构成输出电压，所以两者共有负极为公共端（或正极为公共端）。不隔离的开关电源当由市电整流输入时，用电设备将带市电高压，因此限制了其应用范围。不过，目前电池供电的移动设备多采用此类电源作多种电压输出，包括升/降电压、改变极性等功能。

2.1 降压式不隔离开关电源工作原理

此类降压式开关电源是开关电源进入市场最早的一类。20世纪70年代前，电视机无一例外地采用工频变压器和线性稳压器供电，除其庞大的体积和可观的重量外，稳压范围过窄也给人们带来麻烦，不得不采用改变变压器初级抽头的方式作为手动辅助调整。70年代后，自激式降压开关电源开发成功，尽管是不隔离的，仍几乎为所有的电视机中被采用。因为它以极小的体积、重量，宽范围的稳压性能，使电视机的市电适应性大幅提高。

图2-1是此类开关电源的结构图，在此借以说明降压、稳压原理。输入的直流电压，经过开关管通/断控制变成周期为 T 的矩形波。 T_1 是开关管导通时间， T_2 为开关管截止时间。当开关管导通时，续流二极管D反偏截止，输入电压通过电容器C加在电感L两端，L中的电流随时间 T_1 呈线性增长。与此同时，C充电电压上升。由于C的容量选择较大，在 T_1 的全部时间内，C建立充电电压极小，以保证 T_1 期间的电能全部变成L的磁场能量。当开关管截止时，L释放磁能，其感应电压与输入电压极性相反，使D导通，对C充电，使负载上有持续的电流。C在两次充电过程中，两端建立的充电电压正比于开关管导通时间 T_1 。为了达到降压的目的，在此类开关电源中， T_1/T 的值常小于0.5。因此，C两端电压也小于输入电压（即脉冲峰值电压）的0.5倍。控制开关管导通时间 T_1 ，即可控制负载两端的电压。

为了控制输出电压，用分压器对输出电压取样，送入误差放大器的正相输入端。误差放大器反向输入端，接入稳定的基准电压。当输出电压升高时，比较器输出电压升高，通过脉宽控制电路使开关管提前截止，脉冲宽度 T_1 减小，迫使输出电压降低。

2.2 自激降压型开关电源典型电路

图2-2为此类开关电源的基本电路。 Q_1 为开关管，T为储能电感， D_1 为续流二极管， C_2 、 C_3 为输入/输出电压滤波电容， Q_2 为脉宽调制器， Q_3 为误差检出放大器。 D_Z 、 R_4 构成基准电压， R_5 、 R_6 为输出电压取样分压器。

这是一种自激型开关电源， Q_1 和T组成最基本的间歇振荡电路， Q_1 无需外驱动脉冲。实际上T有两种功能，一种是由初级绕组①—②构成储能电感，一种是初级绕组①—②和次级绕组③—④构成脉冲变压器。这样， Q_1 可以依靠脉冲变压器的正反馈作用产生间歇

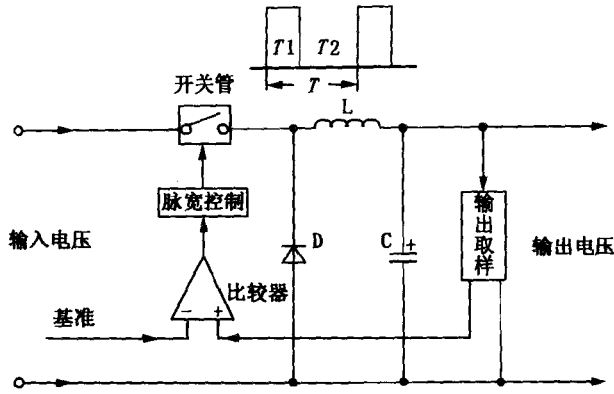


图 2-1 降压型开关电源电路框图

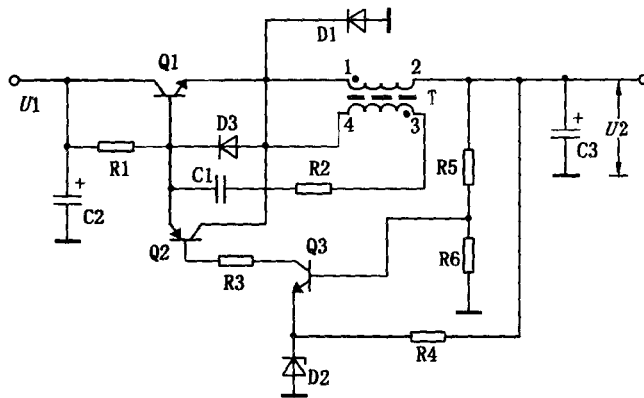


图 2-2 降压型不隔离开关电源基本电路

振荡。

在间歇振荡的过程中， Q_1 随每个振荡周期通/断一次，完成开关管的功能。在该电路中，间歇振荡器属发射极输出反馈电路。当接通电源时，输入电源通过 R_1 给 Q_1 基极以初始偏置电流 I_B ，于是 Q_1 产生发射极电流，向 C_3 充电。充电开始，输入电压几乎全部加在 T 绕组①—②两端，线性上升的 T 初级电流在 T 次级绕组产生感应电压，从 T 绕组③端经 R_2 、 C_1 加到 Q_1 的基极。由于 T 的初/次级相位关系，使得 T 绕组③端脉冲与①端同相位，故构成正反馈。

Q_1 发射极电流的上升，使 T 绕组③端产生上冲的感应脉冲，加到 Q_1 基极使 I_B 上升，于是 I_E 比 I_B 呈 $\beta+1$ 倍的速度增长，直到达到饱和，使 Q_1 基极电流失去对 I_E 的控制功能为止，说明 Q_1 已进入饱和区。饱和以后， Q_1 基极不能继续控制 I_E ，正反馈作用消失， C_1 通过 D_3 放电， I_B 下降，使 $I_B \cdot (1+\beta) < I_E$ ， Q_1 发射极电流开始减小，最终截止。T 绕组③端输出下降的感应脉冲，加到 Q_1 基极，同样的正反馈过程使 Q_1 快速截止，完成间歇振荡的一个振荡周期。同时，开关管完成一次通/断过程。

在上述振荡过程中， R_2 构成 C_1 充电时间常数电路， D_3 为 C_1 放电通路，同时 R_2 还有限制正反馈电流的作用，以免正反馈电流过大使 Q_1 进入过饱和状态，从而增大 Q_1 基区的

存储效应，加大开关管的损耗。 C_1 的容量大小对振荡脉冲频率影响较大，因为即使 Q_1 未进入饱和区，在 Q_1 导通期间的正反馈过程中， C_1 充电电流小到一定程度也会使 Q_1 正反馈电流减小而开始截止过程，提前进入下一个周期的振荡。

Q_2 构成 Q_1 振荡脉宽控制器，也可以说是 Q_1 基极电流可变分流器。在 Q_1 振荡过程中，导通状态转为截止状态的转折点是 $I_B \cdot \beta < I_C$ 的一点。振荡过程中，如果 Q_2 导通使 Q_1 正反馈电流被分流，即可减小 Q_1 的 I_B ，使 Q_1 提前进入转折点。 Q_1 导通期被减小，提前进入截止状态，其结果是脉冲宽度减小，储能电感的储能减少，开关电源输出电压必然降低。此即为 Q_2 的脉宽调制功能。

Q_2 导通电流的大小受控于 Q_3 ， Q_3 为误差检出和电流放大管，其发射极接入简单的稳压电路。输出电压 U_2 经 R_4 限流，使 DZ 工作于齐纳区，向 Q_3 发射极提供稳定的基准电压。当 Q_3 发射极电压固定以后， Q_3 的集电极电流受基极电流的控制。当某种原因使输出电压 U_2 升高时， Q_3 的集电极电流增大，其输出端接入 Q_2 基极，使 Q_2 基极电位被拉向 DZ 稳压值与 Q_3 的 C-E 极之间电压之和。 Q_2 发射极电压基本与输入电压近似，因而 Q_2 始终工作于正向偏置状态的线性区，一旦 Q_2 饱和导通， Q_1 将截止，无法持续振荡。若 Q_2 截止， Q_1 将失去控制，处于 C_1 、 R_2 充电过程所设定的最大脉宽状态，使开关管功耗增大而造成热击穿。

为了实现降压作用，此类开关电源 Q_1 通/断比均设定在 0.5 以下，以使 U_1 与 U_2 之降压比在 2:1 以内。很明显，用此类开关电源完成过大降压比的降压作用是不适合的。因为大幅度地降低电压，必然要尽量压缩 Q_1 的导通期，导通期的过度减小，会使 Q_1 的自激振荡状态处于临界振荡，导致振荡不稳定，使 U_2 的稳定性大打折扣。同时， U_2 输出纹波增大，难以滤除。此外， Q_1 导通期过小，输出电流也无法增大。所以，即使将这种电源用于大的降压比情况下，也只适合小功率供电。

2.2.1 自激降压式开关电源的性能

以间歇振荡方式工作的自激式开关电源，其性能受间歇振荡器工作状态的影响极大，但也有其独特之处。此类开关电源的最大优势是，电路简单，生产调试容易，而且还具有短路自动保护功能。

当负载短路时，续流二极管 D_1 正向并联于 T 绕组①—②两端，使 T 既无储能作用，也无正反馈脉冲输出， Q_1 基极无驱动脉冲，仅有由 R_1 提供的极小的启动电流，电路停振。 Q_1 集电极只有极小的启动状态恒定电流（不足 20mA），开关电源不工作， Q_1 也不会损坏。

如果仅是负载电流增大，视过载电流的大小有不同的后果。若过载电流大到使负载端电阻变得极小，T 的初级储能和正反馈输出显得微不足道，其结果类似于短路，开关电源输出电压极低。但此时开关管集电极电流上升，用手摸开关管会有明显的温升。如果短路电流在上述基础上稍有下降，负载电阻相应增大，T 的正反馈输出也增大，开关电源输出电压仍会低于额定值。此时开关管集电极电流超过允许范围，时间稍长，开关管因温度过高而热击穿。所以，自激式降压开关电源有短路自动保护功能，但对过流只能降低输出电压，不能保护性停振，这是必须注意的。

开关电源输出过压是所有稳压电源的大忌。降压式开关电源输出过压，常常是因为开关管反向击穿或漏电引起的。开关管一旦击穿，输入电压为直流电，储能电感的阻抗只有直流电阻成分，其阻值很小，使输入电压几乎全部加在负载上，使负载电路严重损坏。还有一种

输出过压现象是由取样系统、脉宽控制系统失灵造成的。此时，自激式开关电路仍能工作，但开关管的导通脉冲宽度处于最大脉宽，输出电压会升高至输入电压的 $1/2$ 或稍高于 $U_{1/2}$ 。这种情况也会使负载电路有不同程度的损坏。根据上述现象判断过压产生的原因是相当有效的。

自激式降压型开关电源，输入电压变动的稳压范围局限性很大，其原因是，一旦电路中 C_1 、 R_2 数值选定，间歇振荡器的正反馈量是随输入电压变动的。在输入电压升高时， Q_1 导通时间虽缩短，但 Q_1 饱和电流增大，致使正反馈电压峰值升高，使 Q_1 进入过饱和区，其存储效应造成开关管损耗增大，严重时造成 Q_1 连续导通。若为了避免输入电压的上限发生上述现象，势必减小 C_1 或增大 R_2 ，使 Q_1 基极电流不致过大，但结果是，在市电输入下限正反馈脉冲幅度大幅降低， Q_1 因基极驱动电流不足而不能进入饱和状态，导通期间管压降明显增大，同样会使 Q_1 过热损坏。

上述现象是所有自激式开关电源的痼疾。这种现象不只反映在输入电压的变化上，负载电流的增大和减少对应于输入电压的降低和升高，对振荡电路的影响是等效的。因负载电流的减小，使储能电压放电电路的负载阻抗升高，在存储能量不变的条件下，储能电感形成自感电势也会升高。虽然由此引起的输出电压升高趋势被取样系统、脉宽调制器通过进一步减小脉冲宽度使输出电压稳定，但脉宽调制过程却不能改变开关脉冲的幅度，只是通过减小脉冲宽度使滤波后平均值不变。此点正是所有脉宽调制 (PWM)、占空比调制 (PCM) 和频率调制 (PFM) 开关电源的共同弱点。

因为无论输入市电电压升高还是负载电流减小，T 的初级脉冲幅度有所升高，次级正反馈脉冲幅度将随之升高，尽管脉冲持续时间变短，但开关管过大的瞬间基极电流还是会造成基区存储效应增大。其结果是，开关管关断时间滞后于驱动脉冲下降沿，输出电压稳定度变差，开关管损耗随之增大。因此，自激式开关电源稳压范围提高的瓶颈是，自激电路正反馈量随输入电压变化。故 20 世纪 80 年代后期，自激式开关电源首先在稳定正反馈电流中作了大量改进。

2.2.2 自激降压式开关电源的保护电路

降压式开关电源的输出过压保护是至关重要的，因为输出电压超压，不仅开关电源本身受损，负载电路也同时损坏。早期的此类电源过压保护非常简单，只在开关电源输出端接入超压敏感元件，一旦输出超压，压敏元件永久性击穿，开关电源因负载短路而自动

保护。这种压敏元件无论其应用电路中符号怎么画，实际上只有两种，见图 2-3 中所示。虽然有的画成稳压管形式，有的画成压敏二极管 DVS 的形式，其实两者均表明内部为半导体压敏二极管，一旦两端电压超过其额定电压则产生永久性击穿。常见的 SR-2M、R2M 等均为此类产品。很明显，压敏二极管的额定电压值越高，其误差也就越大。所以，此类过压保护只能对家用电器进行粗略的保护，实际上只能对降压式开关电源的开关管击穿、PWM 系统开路等硬故障进行保护。例如常见的此类二极管 R2M，标称保护阈值为 115V，实际上两端电压需超过 130~140V 才能击穿，而超压敏感的负载电路早已损坏。

上述保护电路为了使 DVS 击穿后内阻极低，以使开关电源输出端短路电阻更小，所用 DVS 必须有较大的击穿电流。对半导体敏感器件来说，击穿电流越大，击穿电压的误差越难以精确。如果过压后电源内阻稍大，造成 DVS 完全击穿即不可能。因此，其后又出现了

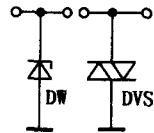


图 2-3 二极管过压保护