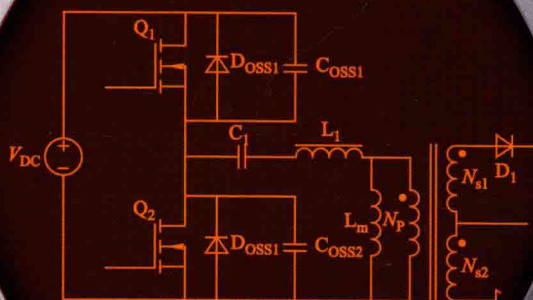


魏学业 汪 政 马荣全 编著

开关电源设计

全实例精解

KAIGUAN DIANYUAN SHEJI
QUAN SHILI JINGJIE



化学工业出版社

魏学业 汪 政 马荣全 编著

开关电源设计

全实例精解



化学工业出版社

·北京·

本书侧重实例精解的形式,本着理论为实践服务的原则,介绍了开关电源设计的相关知识,共分为基础篇和实例篇两大篇。其中,基础篇主要介绍了开关电源的特点及分类、拓扑结构及工作原理、变压器的设计等;实例篇中从 AC/DC、DC/DC、恒流源(以 LED 为应用实例)和数字电源四个方面给出丰富的设计实例,读者可从相关实例中举一反三。

本书实例丰富,内容实用,适合从事开关电源设计、维修的电子技术人员阅读使用,同时也可用作高等院校电子技术等相关专业的教材及参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源设计全实例精解/魏学业,汪政,马荣全编著.
北京:化学工业出版社,2016.6
ISBN 978-7-122-26728-3

I. ①开… II. ①魏…②汪…③马… III. ①开关电源-设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 070891 号

责任编辑:要利娜
责任校对:王素芹

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 299 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

前言

电源是人们必需的设备之一，从家用电器、办公设备到工业自动化系统都离不开电源，电源的设计与电源的理论相互并存、共同发展。

电路理论、电子技术、集成技术以及电力电子技术的发展，促使了晶体管——三极管和二极管的诞生，由此设计出了以晶体管为核心的稳压电源，其基本的拓扑结构是将多余的电压降压到晶体管上，也就产生了线性稳压电源。虽然其体积庞大、效率不高，但其结构简单，满足了当时人们的需要。

科技的发展，对电源提出了更高的要求，这就要求人们设计出体积更小、效率更高的电源，从而促使了电子技术的前进。电子技术的发展，产生了新的电源拓扑结构，推动了一种前所未有的电源——开关电源的诞生。开关电源以其体积小、效率高、稳定性优越等，得到了广泛的应用，为科技的发展起到了举足轻重的作用。

设计一个新的开关电源，需要掌握其基本的理论与技术。开关电源中，拓扑结构、变压器、脉宽调制、开关管，以及前期的仿真等是其重要的设计基础。针对此要求，本书着重给出一些设计实例，诚期读者从实例中悟出设计的方法，起到抛砖引玉的效果。

本书的前半部分主要介绍了开关电源的分类、拓扑结构、变压器的设计和电源的仿真软件。理论是设计的基础，在于明确设计的理念，实现完善的设计，但不能只停留在理论阶段，只有应用到社会实践中，才能发挥其作用。因此本书的后半部分从应用的角度进行介绍。在开关电源的应用中，从输入端来看主要有直流变直流（DC/DC）、交流变直流（AC/DC），从输出端来看主要有恒压输出、恒流输出。为此本书从 AC/DC、DC/DC、恒流源（以 LED 为应用实例）和数字电源四个方面给出设计实例，以期给设计人员带来设计灵感，从相关实例中进行改进设计。

电源设计需要下工夫修炼，希望广大读者通过阅读本书，多读书中的基本技术和经典实例，掌握电源设计的内涵，在模仿设计的基础上，达到创新设计电源的目的。

本书由魏学业、汪政、马荣全编著，此外胡良、马建光、马晓霆、王培、杜永博、郭焱、张欧、杨文燕、严曙馨、冯浩、沈庆发等也为本书的编写提供了许多帮助。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

目录

基础篇

1 开关电源的特点与分类	2
1.1 线性、开关电源的特点	2
1.2 开关电源的电路类型	2
1.3 开关电源的工作模式	4
1.4 零电压开关 (ZVS) 和零电流开关 (ZCS) 方式	4
2 开关电源的拓扑结构	6
2.1 BUCK 变换器的基本原理	6
2.2 BOOST 变换器的基本原理	7
2.3 BUCK/BOOST 变换器的基本原理	7
2.4 反激变换器的基本原理	8
2.5 正激变换器的基本原理	10
2.6 推挽式变换器的基本原理	11
2.7 电流型半桥变换器的基本原理	12
2.7.1 基本原理	12
2.7.2 控制要求	14
2.8 电压式半桥式变换器	14
2.9 全桥式变换器的基本原理	15
2.10 半桥 LLC 谐振变换器的基本原理	16
3 变压器的设计	20
3.1 变压器的工作原理	20
3.2 变压器的模型	21
3.3 高频变压器对磁芯材料的要求	22
3.4 高频变压器设计考虑的几个问题	23
3.5 寄生参数和影响	23
3.6 高频变压器设计步骤	24
4 高频变压器的绕组	29
4.1 通电导线的集肤和邻近效应	29
4.2 不同绕组结构对高频变压器电磁参数的影响	30
4.3 不同绕组结构高频变压器的设计示例	31

实例篇

5 AC/DC 开关电源实例	36
5.1 65W 反激开关电源	36
5.1.1 产品特点	36
5.1.2 典型应用及引脚功能描述	37
5.1.3 TOP264-271 功能描述	38
5.1.4 65W 通用输入适配器电源	39
5.2 24W 反激开关电源的设计	42
5.2.1 电路原理图	42
5.2.2 电路描述	42
5.2.3 变压器规格	45
5.3 带 PFC 的半桥谐振 LLC 开关电源	45
5.3.1 PFC 电路	45
5.3.2 LLC 部分	49
5.4 120W/19V 双开关反激式开关电源	64
5.4.1 FAN6920 介绍	64
5.4.2 功能说明	66
5.4.3 电路图	76
6 DC/DC 开关电源实例	77
6.1 隔离式正激 DC/DC 变换器	77
6.1.1 基本性能和典型应用	77
6.1.2 应用信息	78
6.1.3 控制信息	88
6.2 30W 正激 DC/DC 开关电源	94
6.2.1 产品特点	94
6.2.2 功能描述	95
6.2.3 引脚功能描述	95
6.2.4 DPA-Switch 产品系列功能描述	96
6.2.5 正激 30W 开关电源	97
6.3 6~42V 输入、5V 输出的 DC/DC 变换器	98
6.3.1 LM25574 芯片介绍	98
6.3.2 工作描述	100
6.3.3 应用信息	105
6.4 500W DC/DC 变换器	111
6.4.1 L6599 简介	111
6.4.2 全桥 LLC 变换器的工作原理分析	112
6.4.3 LLC 全桥谐振变换器主电路参数设计	114

6.4.4	LLC 全桥谐振变换器控制电路参数设计	115
6.5	120W/24V LLC 谐振变换器	116
6.5.1	概述	116
6.5.2	工作原理和基波近似	117
6.5.3	设计流程	122
7	LED 电源实例	128
7.1	50W 直流小功率恒流源	128
7.1.1	功能介绍	128
7.1.2	典型电路和实际电路	129
7.2	交流大功率恒流源	135
7.2.1	芯片特性和引脚功能	135
7.2.2	充电电流控制的工作原理	136
7.2.3	混合控制 (PWM+ PFM)	138
7.2.4	电流检测	140
7.2.5	软启动和输出电压调节	142
7.2.6	功能设置	143
7.3	交流 18W LED 恒流源驱动	151
7.3.1	电源管理芯片 DU8633	152
7.3.2	电路参数设计	153
7.4	70W LED 照明灯电源	157
7.4.1	BCM 升压 PFC 转换器的基本工作原理	158
7.4.2	准谐振反激式转换器的工作原理	159
7.4.3	设计思路	160
7.4.4	直流-直流部分	164
7.5	16.8W/24V LED 反激式驱动电源	171
7.5.1	芯片描述	172
7.5.2	电源设计	180
8	数字电源实例	182
8.1	UCD3138 的数字电源	182
8.1.1	器件概述	182
8.1.2	描述	187
8.1.3	总体概览、系统模块与 IDE 计算	194
8.1.4	DPWM 工作模式	196
8.1.5	自动模式开关	199
8.1.6	滤波器	205
8.1.7	典型应用	206
8.2	小功率数字充电电源	215
8.2.1	国内外数字电源发展现状	215

8.2.2	设计指标	216
8.2.3	系统总体设计	217
8.2.4	基于 L6562 的 PFC 电路设计	218
8.2.5	控制软件	222
参考文献		224

基础篇

- 1 开关电源的特点与分类
- 2 开关电源的拓扑结构
- 3 变压器的设计
- 4 高频变压器的绕组

开关电源的特点与分类

1.1 线性、开关电源的特点

线性电源（Switching Mode Power Supply）首先通过工频变压器降压，再用整流桥整流，之后利用功率半导体器件工作在线性放大状态，通过调节调整管的线性阻抗来达到调节输出电压的目的。其优点是稳定度高、可靠性好、无电磁干扰、纹波系数小、设计简单、维修方便、抗雷击性能好、成本低；其缺点是调整管损耗大、工频变压器体积大、笨重、输入范围窄、效率低。

开关电源是利用功率半导体器件的饱和区，通过调整其开通时间或频率来达到调节输出电压的目的。其优点是功率电子器件损耗小、高频变压器体积小、重量轻、效率高、输入范围宽；其缺点是电磁干扰大、纹波系数大、设计复杂、维修不方便、抗雷击和浪涌能力较差、成本高。

目前，在小功率的电源中还存在一些线性电源，但在中、大功率的电源中，线性电源已经被开关电源所取代。随着控制芯片频率的提高和功能的增多，高速和低功耗功率开关管的研制成功，开关电源是未来电源主要的发展方向。

1.2 开关电源的电路类型

开关电源主要由三部分组成：PWM 控制模块、开关管（BJT、MOSFET、IGBT 等）和滤波器（电感、电容）。隔离开关电源还包括隔离变压器。当然还要考虑 EMI（Electro Magnetic Interference，即电磁干扰）、PFC（Power Factor Correction，即功率因数校正）的设计。

（1）按隔离、非隔离分类

开关电源可以分为非隔离型和隔离型。非隔离型开关电源也就是无变压器的开关电源，主要分为降压电路（BUCK）型、升压电路（BOOST）型、升降压电路（BUCK-BOOST）型、CUK 电路型、SPEIC 电路型、ZETA 电路型；隔离型开关电源也就是有高频变压器的开关电源，主要分为单管（双管）正激（FORWARD）电路型、反激（FLYBACK）电路型、半桥（HALF-BRIDGE）电路型、全桥

(FULL-BRIDGE) 电路型、推挽 (PUSH-PULL) 电路型。

(2) 按输入和输出分类

可以分为以下几类。

- ① AC-DC, 即交流-直流: 把交流输入变换成直流输出, 如一次电源;
- ② DC-DC, 即直流-直流: 把直流输入变换成另一种电压 (电流) 输出的直流输出或为隔离目的而进行的设计, 如二次电源;
- ③ DC-AC, 即直流-交流: 把直流输入变换成交流输出, 如逆变器电源;
- ④ AC-AC, 即交流-交流: 把交流输入变换成交流输出, 如 UPS 电源。

(3) 按电路的组成分类

可分为有谐振型和非谐振型。带软开关控制电路的为 (准) 谐振型, 如 LLC 型开关电源就是准谐振型; 其他为非谐振型, 如 BUCK、BOOST 开关电源等。

(4) 按控制方式分类

① 脉冲宽度调制 (PWM) 式, 是指控制开关管的导通周期是固定不变的, 通过改变脉冲的宽度来调节占空比, 使输出电压 (或电流) 改变。

PWM 型开关电源具有下列优势。

- a. 体积小、重量轻: 这是因为高频变压器相对工频变压器来说更加轻巧, 所以体积变小、重量也大大减轻了。
- b. 效率高: 由于开关管处于开关状态, 而其导通电阻极小, 消耗在开关管上的功率很小, 所以其效率较高。
- c. 适应性强: 由于开关管只工作于导通和断开两种状态, 而脉冲宽度的调节范围, 理论上可达 0~100% 之间, 由此可见其适应输入电压的范围宽、输出电压的范围大。
- d. 可防止过高电压的损害: 当由于电压过高而使开关管被击穿烧坏时, 主回路就停止工作, 也就不会有电压输出; 当控制电路发生故障而引起输出电压上升时, 过电压保护电路将在电压上升到高电压阈值电平时使主回路停止工作, 同样不会有电压输出。
- e. 当输入电压突然断电时, 输出电压会继续保持一段时间。由于输入电压比较高, 电容储存了很大的电能, 再加上它的输出电压必须保持在额定值, 保持时间一般可达 20ms 以上, 这就便于实现信息的保护。
- f. 输出电压越低, 那么输出电流就会越大: 设计开关电源时, 其功率是有一定要求的, 由于电流与电压的乘积保持不变, 所以输出低电压, 就会输出大电流, 这为恒流源的设计带来了思路。

② 脉冲频率调制 (PFM) 式, 是指通过改变开关管的导通周期, 而脉冲的宽度是固定的, 即占空比是不变的, 从而使输出电压 (或电流) 改变。

它不仅具有 PWM 的优点, 而且因为开关时间可以在很宽的范围里发生改变, 理论上可在 0~ ∞ 之间变化, 因此其输出电压的可调范围很大, 但其滤波电路要适应较宽的频段。

③ PWM 与 PFM 混合式。混合调制方式是脉冲宽度和开关频率均变化，两者都可以改变的方式，它是 PWM 和 PFM 两种方式相结合。开关管的导通时间和开关的周期都相对地发生改变，在频率变化很小的情况下，利用占空比的变化就可以输出电压的变化范围很大。

1.3 开关电源的工作模式

开关电源的工作模式主要有三种：连续工作模式、断续工作模式和临界工作模式。

连续工作模式即电路中的电流连续不断（Continuous Current Mode，简称为 CCM），例如 BUCK 电路，其电感电流永远大于零；断续工作模式即电路中的电流有时没有（Discontinuous Current Mode，简称为 DCM），例如对于 BUCK 电路，其电感电流会在一段时间内为零；临界工作模式即电路中的电流减小到零后，电流就开始增加（Critical Current Mode，简称为 CRCM），例如对于 BUCK 电路，其电感电流在放电为零的瞬间便进入充电状态。

三种方式各有优缺点。例如 CCM 的纹波小，但效率低；而 DCM 的纹波大，但效率高；CRCM 的纹波和效率介于 CCM 和 DCM 之间。在设计电源时，需要根据设计要求、成本、外围电路以及安装空间等，进行综合考虑。

1.4 零电压开关（ZVS）和零电流开关（ZCS）方式

PWM 功率变换技术淘汰了庞大笨重的工频变压器，减小了变压器的体积和重量，提高了电源的功率密度和整体效率，减小了电源的体积和重量。但是，随着设备功能的增加，供电电源功率和输出路数也将增加，势必要求开关电源的功率密度更大、效率更高，且体积更小、重量更轻、可靠性和稳定性更高，这便迫使在变换器的工作频率不断提高的同时，拓扑结构和开关思想方面要有所突破。因此，仍使用硬开关技术一定会碰到以下几个难题：

① 开关损耗大：当开关管导通的瞬间，开关管两侧存在电压，而导通的瞬间电流很大；当开关管截止的瞬间，开关管两侧还有电流通过，且开关管两侧存在电压。根据功耗的定义，不管开关管导通还是截止的瞬间，均有一定的开关损耗，且随着开关频率的增加而增加。

② 开关管所受应力大：开关管截止瞬间，电路中的感性元件上仍有电流，因而会产生一个反电动势，这是一个幅值比较大的尖峰电压；同理，当开关管导通的瞬间，电路中的容性元件上仍有电压，因而会出现充电电流，这是一个幅值比较高的尖峰电流。尖峰电压与尖峰电流都会对开关管造成不小的危害，而且频率越高，

尖峰电流与尖峰电压越大,这会使开关管受很大的反向应力而损坏。

③ EMI 大:随着工作频率的增加,电磁干扰(EMI)会变得更加严重,这会对开关电源自身以及周围的电子设备造成严重的影响。

因此,若能在开关管导通的瞬间使电压为零,在关断的瞬间使电流为零,即可实现开关管的零损耗。那么就可以设想下面的两个开关过程。

(1) 零电流开关 (Zero Current Switching, 简称 ZCS)

开关管理想的关断过程是先使电流降为零,再使开关管截止,之后电压再缓慢地上升到瞬态值,关断损耗近似为零。因为开关管截止之前,电流已经下降到零,这便解决了感性元件关断时的尖峰电压问题。

(2) 零电压开关 (Zero Voltage Switching, 简称 ZVS)

开关管理想的导通过程是先使电压降到零,再使开关管导通,之后电流再缓慢上升到瞬态值,导通损耗近似为零。开关管导通的瞬间,其结电容上的电压为零,从而解决了容性元件导通时的尖峰电流问题。

这种开关技术,相对于硬开关技术,称作软开关技术。软开关技术的使用,从理论上来讲可使开关的损耗接近于零,进而使开关频率进一步提高,从而使变换器的工作效率得到提高,其功率密度更大、体积更小、重量也进一步减轻,在一定程度上提高了可靠性和稳定性,并且可以有效地减少电磁污染。

虽然软开关技术相对于硬开关技术有更大的优越性,但其控制电路和控制算法更加复杂,需要采用谐振技术或准谐振技术才能实现 ZVS 和 ZCS。采用谐振极型零电压零电流软开关技术旨在消除功率器件的开关损耗,但实际上在软开关谐振换流过程中会引入多次额外的二极管反向恢复过程,产生额外的损耗。由于软开关换流过程中的特殊性,采用一般的方法难以对反向恢复过程中的损耗进行评估和计算,给 ZVZCT 软开关设计带来了一定的困难。

2

开关电源的拓扑结构

这里主要介绍非隔离型开关电路的基本电路——降压、升压和升/降压电路，隔离型开关电源的基本电路——单端正激电路、单端反激电路、推挽电路、半桥电路和全桥电路的基本工作原理。

2.1 BUCK 变换器的基本原理

BUCK 电路是一种 DC-DC 的基本拓扑，用于直流到直流的降压变换，其基本

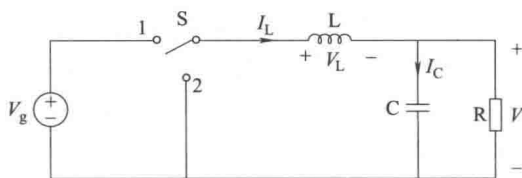


图 2-1 BUCK 电路原理图

原理如图 2-1 所示。当开关 S 接位置 1 时，等效电路如图 2-2 (a) 所示；当开关 S 接位置 2 时，等效电路如图 2-2 (b) 所示。

由图 2-2 (a) 可列出关系式：

$$V_L = V_g - V; I_C = I_L - V/R$$

由图 2-2 (b) 可列出关系式：

$$V_L = -V; I_C = I_L - V/R$$

根据电感的伏秒平衡关系得：

$$D(V_g - V) + (1 - D)(-V) = 0$$

即 $V = DV_g$ ，其中 D 是开关在位置 1 时的占空比。由于占空比小于 1，因此 BUCK 电路的输出电压小于其输入电压。

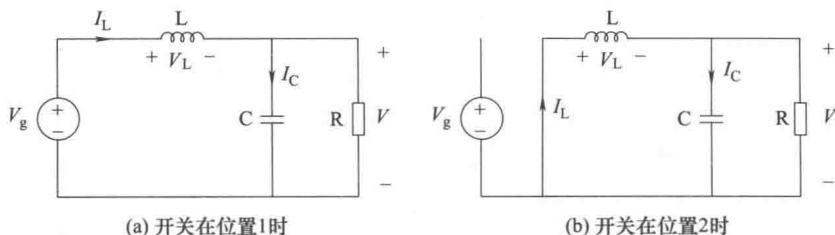


图 2-2 BUCK 开关在不同位置时的等效电路图

根据电容的安秒平衡关系得：

$$D(I_L - V/R) + (1 - D)(I_L - V/R) = 0$$

即 $I_L = V/R$ 。说明流过电感的电流与占空比无关，其值等于输出电流。

2.2 BOOST 变换器的基本原理

BOOST 电路也是一种 DC-DC 基本拓扑，用于直流到直流的升压变换，其基本原理如图 2-3 所示。当开关 S 接位置 1 时，等效电路如图 2-4 (a) 所示；当开关 S 接位置 2 时，等效电路如图 2-4 (b) 所示。

由图 2-4 (a) 可列出关系式：

$$V_L = V_g; I_C = -V/R$$

由图 2-4 (b) 可列出关系式：

$$V_L = V_g - V; I_C = I_L - V/R$$

根据电感的伏秒平衡关系得：

$$DV_g + (1-D)(V_g - V) = 0$$

即 $V = V_g / (1-D)$ ，由于占空比小于

1，因此 BOOST 电路的输出电压大于其输入电压。

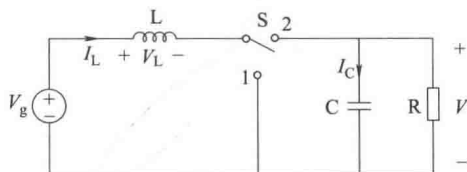
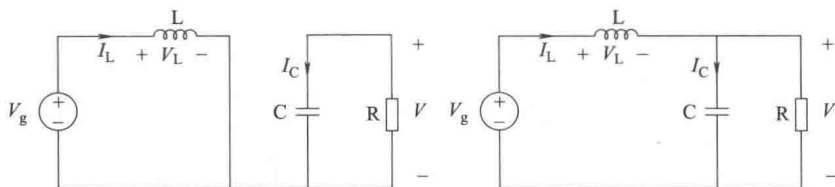


图 2-3 BOOST 电路原理图



(a) 开关在位置 1 时

(b) 开关在位置 2 时

图 2-4 BOOST 开关在不同位置时的等效电路图

根据电容的安秒平衡关系得：

$$D(-V/R) + (1-D)(I_L - V/R) = 0$$

即 $I_L = (V/R) / (1-D) = I_O / (1-D)$ 。其中 I_O 表示流过负载的输出电流。该式表明，流过电感的电流大于输出电流。

2.3 BUCK/BOOST 变换器的基本原理

BUCK-BOOST 电路是另一种 DC-DC 基本拓扑，用于直流到直流的升压或降压变换，其输出电压极性与输入电压极性相反，其基本原理如图 2-5 所示。当开关 S 接位置 1 时，等效电路如图 2-6 (a) 所示；当开关 S 接位置 2 时，等效电路如图 2-6 (b) 所示。

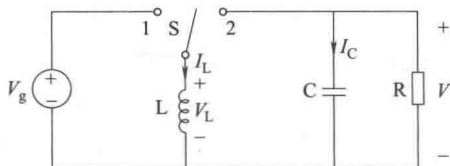


图 2-5 BUCK-BOOST 电路原理图

图 2-6 (b) 所示。

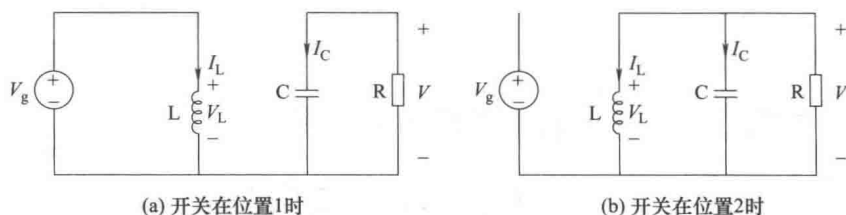


图 2-6 BUCK-BOOST 开关在不同位置时的等效电路图

由图 2-6 (a) 可列出关系式:

$$V_L = V_g; I_C = -V/R$$

由图 2-6 (b) 可列出关系式:

$$V_L = V; I_C = -I_L - V/R$$

根据电感的伏秒平衡关系得:

$$DV_g + (1-D)V = 0$$

即:

$$V = -DV_g / (1-D)$$

当占空比小于 0.5, 输出电压小于输入电压; 当占空比大于 0.5, 输出电压大于输入电压。负号代表输出电压反向。

根据电容的安秒平衡关系得:

$$D(-V/R) + (1-D)(-I_L - V/R) = 0$$

即:

$$I_L = -(V/R) / (1-D) = -I_O / (1-D)$$

该式表明, 流过电感的电流大于输出电流。

2.4 反激变换器的基本原理

反激 (FlyBack) 型开关电源是使用反激高频变压器隔离输入输出的开关电源, 与之对应的是正激开关电源。基本电路如图 2-7 所示。

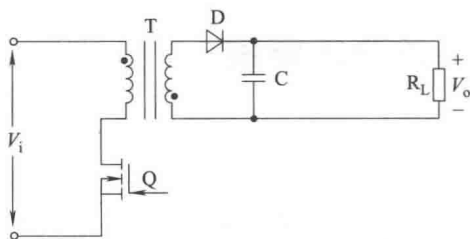


图 2-7 单端反激开关电路

在反激变换器中变压器起着电感和变压器的双重作用。当变压器开关管导通时, 变压器当做电感, 能量转化为磁能储存能量。由于变压器的初级线圈与次级线圈同名端反向, 此时二极管 D 承受的是反向电压, 所以负载中无电流流过, 此时变压器副边没有输出能量。相反, 当开关管关断时, 变压器释放能量,

磁能转化为电能, 输出回路中有电流。反激式开关电源中输出变压器同时充当储能

电感,减小了整个电源的体积,所以得到广泛应用。

反激式开关电源所用元器件少、电路简单、成本较低,可同时输出多路相隔离的电压;但由于开关管承受电压高、输出变压器利用率低,故不适合做大功率开关电源,其输出功率一般为 $20 \sim 100\text{W}$ 。

当开关管关断时,由于变压器漏感储能的电流突变产生很高的关断电压尖峰;开关管导通时电感电流变化率大,产生电流尖峰,在 CCM 模式整流二极管反向恢复引起开关管高的电流尖峰。因此,需要用钳位电路来限制反激变换器开关管的开关电压、电流应力。

目前反激变换器的钳位电路主要有:有损 RCD 钳位电路,双晶体管双二极管钳位电路, LCD 钳位电路和有源钳位电路。

RCD 钳位电路分为加在变压器原边和加在开关管两端两种,基本电路如图 2-8 和图 2-9 所示。这钳位电路拓扑结构简单,易于实现,但在钳位电阻 R 上有能量损耗,影响变换器效率。

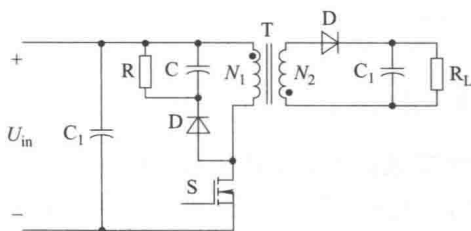


图 2-8 变压器原边 RCD 钳位电路

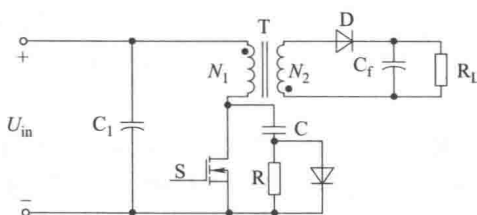


图 2-9 开关管两端 RCD 钳位电路

双晶体管双二极管钳位电路没有因电阻引起的电能损耗且能够将能量回馈到电源中去,但由于增加二极管和 MOS 开关管使电路结构变得复杂,成本较高。如图 2-10 所示。

LCD 钳位电路只需要两只钳位二极管、一个钳位电感和一个钳位电容组成,电路中不存在 MOS 管和电阻,电路结构简单易于实现,变压器漏感能回馈到电源中。同时由于钳位元件谐振时电流尖峰较大,所有的二极管都属于硬开关,存在

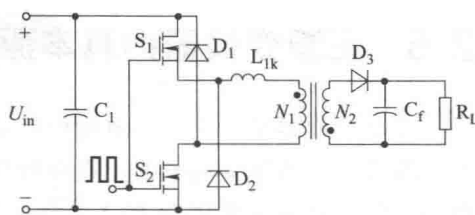


图 2-10 双晶体管双二极管钳位电路

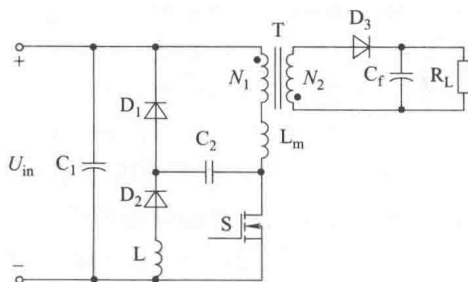


图 2-11 LCD 钳位电路

开通损耗,一般在开关频率低的时候才能够保持高效率。如图 2-11 所示。

有源钳位电路能够克服无源钳位电路转换效率低的问题。采用有源钳位电路的反激变换器能在主开关管关断期间,由钳位电容上的电压将主开关管两端的电压钳位,利用钳位电容和主开关管寄