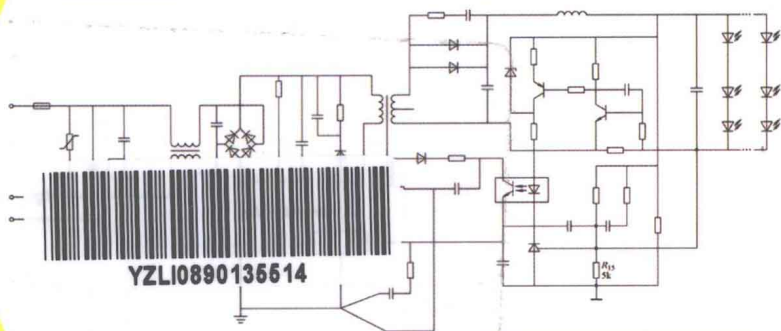


开关电源 与LED照明的优化 设计应用

赵同贺 等编著



开关电源与 LED 照明的 优化设计应用

赵同贺 等编著



机械工业出版社

本书将开关电源与LED驱动电源有机地结合在一起,全面、系统地介绍了LED驱动照明知识,以及驱动电源类型和可调光芯片的选用、结构形式和设计理论,结合国内外最新发展动向与新型集成电路的控制技术原理,对元器件的选用、各种电源的结构形式和LED驱动电源的拓扑结构做了示范性的演示,并对开关电源出现的故障作了详细的分析,讲解了维护、维修的方法。

本书对从事通信、军工、家电、医疗、工业控制、交通运输等领域的开关电源设计人员有很高的参考价值,也可供高等院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源与LED照明的优化设计应用/赵同贺等编著. —北京:机械工业出版社,2012.1

ISBN 978-7-111-36770-3

I. ①开… II. ①赵… III. ①开关电源-电路设计②发光二极管-电路设计 IV. ①TN86②TN383.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第258893号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:闫洪庆 责任编辑:闫洪庆 版式设计:霍永明

责任校对:肖琳 封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·557千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-36770-3

定价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

开关电源是近年来应用非常广泛的一种新型电源。它具有体积小、重量轻、效率高、使用方便等优点，在通信、航空航天、仪器仪表、工业自动化、医疗设备、家用电器等领域应用效果显著。当前 LED 照明是开关电源应用的一种体现，LED 照明广泛应用于室内外，我国已成为各种照明灯的世界第一大出口国。

随着新的元器件材料的开发应用，许多新型多功能电源控制器和 LED 驱动芯片不断推向市场，大量超小型、多功能、模块化开关电源和 LED 调光电路不断涌现。各种大功率白光高亮度、超高亮度、有机和全彩色 LED 取得了突破性的发展。工程技术人员在设计、开发、生产、调试过程中会遇到各种问题和一些异常现象。作者在开关电源开发生产实践中、在元器件材料的选用上有很多经验体会；对 LED 驱动电源的设计和应用实例作了深入阐述，尤其对设计步骤初始化数据处理计算公式等方面进行优化，在此一并呈现给读者，以期对工程技术人员的设计开发有一定的促进作用和指导意义。

电源是所有电子设备不可缺少的动力之源，电源变换装置也是电子设备重要的组成部分，各种电子设备对电源供电的要求各不相同，总的来说，以省电、安全、可靠为宗旨。

本书将开关电源与 LED 驱动电源有机地结合在一起，系统地介绍 LED 驱动照明知识，以及驱动电源类型和可调光芯片的选用、结构形式和设计理论，结合国内外最新发展动向与新型 IC 的控制技术原理，对元器件的选用、各种电源的结构形式和 LED 驱动电源的拓扑结构作了示范性的演示，并对开关电源出现的故障作了详细的分析，讲解了维护、修理的方法。本书共分 8 章，第 1 章介绍了开关电源和 LED 驱动照明的基础知识；第 2 章剖析了开关电源和 LED 驱动的设计理论和设计要求；第 3 章细述了开关电源变换电路的结构原理和调光 LED 的优化与应用；第 4 章讲述了新型开关电源的原理和设计要点；第 5 章解析了经济电源的应用；第 6 章讲解了软开关技术；第 7 章详述了各种有源和无源功率因数校正与电源效率；第 8 章简述了 PCB 设计技术。

本书可供从事通信、军工、家电、医疗、工业自动化、交通运输和各种 LED 照明等领域的设计人员阅读，也可供高等院校相关专业师生参考。本书主要由赵同贺编写及统稿，其他编写人员分别是：王娟、薛素云、李晓芳、李传光、薛鸿德、吴慎山、吴东芳、薛迪强、薛迪胜、薛迪庆、薛彬、齐福存、杨桂玲、李建军、马备战、陈军等。

为贯彻新闻出版总署颁布的《图书质量管理规定》，本书稿对行业中常见的一些不规范的名词术语进行了纠正，使其符合规范的名词术语要求，如均方根值→方均根值，欠压→欠电压，铁芯→铁心，变压器初级→一次侧，次级→二次侧等，请读者注意。

由于时间仓促，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 开关电源与 LED 驱动基础

知识	1
1.1 开关电源与 LED 照明的定义	1
1.1.1 什么是开关电源	1
1.1.2 开关电源的分类	2
1.1.3 什么是 LED 照明	3
1.1.4 LED 的型号分类	4
1.1.5 LED 照明灯的主要参数	5
1.2 开关电源的结构形式	5
1.2.1 反激式单晶体管变换电路	5
1.2.2 反激式双晶体管变换电路	6
1.2.3 正激式单晶体管变换电路	8
1.2.4 正激式双晶体管变换电路	8
1.2.5 半桥式变换电路	9
1.2.6 桥式变换电路	10
1.2.7 推挽式变换电路	10
1.2.8 升压式变换电路	11
1.2.9 降压式变换电路	12
1.2.10 升压/降压式变换电路	14
1.2.11 单端一次电感式变换电路	15
1.2.12 电荷泵式变换电路	16
1.3 开关电源元器件的特性与选用	17
1.3.1 功率开关晶体管的特性与选用	18
1.3.2 软磁铁氧体磁心的特性与选用	23
1.3.3 光耦合器的特性与选用	28
1.3.4 二极管的特性与选用	30
1.3.5 自动恢复开关的特性与选用	34
1.3.6 热敏电阻的特性与选用	36
1.3.7 TL431 精密稳压源的特性与 选用	37
1.3.8 压敏电阻的特性与选用	39
1.3.9 电容器的特性与选用	39
1.3.10 磁珠的特性与选用	45
1.3.11 LED 驱动电源芯片的特性与 选用	45
1.4 LED 照明调光电路	46
1.4.1 LED 模拟调光电路	46

1.4.2 LED 脉宽调光电路

1.4.3 LED 双向晶闸管调光电路

第 2 章 开关电源电路及 LED 调光

照明设计理论	52
2.1 开关电源控制方式的设计	52
2.1.1 脉宽调制的基本原理	52
2.1.2 脉冲频率调制的基本原理	53
2.1.3 开关电源反馈电路的设计	53
2.2 开关电源各回路设计	55
2.2.1 开关电源输入回路设计	55
2.2.2 开关电源驱动回路设计	58
2.2.3 开关电源吸收回路设计	62
2.2.4 开关电源保护回路设计	62
2.2.5 开关电源软启动回路设计	67
2.2.6 开关电源多路输出反馈回路 设计	70
2.2.7 LED 照明驱动电路设计	74
2.3 芯片 LED 驱动电源的设计	78
2.3.1 TOP204Y 恒功率调光 LED 驱动 电源的设计	78
2.3.2 SG6858 脉宽调光隔离式 LED 驱动 电源的设计	81
2.3.3 FT6610 非隔离式模拟调光 LED 驱动电源的设计	84
2.3.4 BP3108 双向晶闸管调光隔离式 LED 驱动电源的设计	85
2.3.5 NCP1207 软启动背光源 LED 驱动 电源的设计	87
2.4 开关电源设计开发与 LED 照明应用 存在的问题	91
2.4.1 电磁干扰问题	91
2.4.2 效率与功率因数问题	97
2.4.3 器件材料问题	98
2.4.4 功率变换控制问题	98
2.4.5 生产工艺问题	99
2.4.6 LED 照明寿命问题	99
2.4.7 LED 照明光衰问题	100
2.5 开关电源与 LED 照明设计技术	

标准	101	3.6.2 UC3825 的电路特点	144
2.5.1 开关电源的机械标准	101	3.6.3 UC3825 电路的工作原理与 应用	145
2.5.2 开关电源的环境标准	101	3.6.4 推挽式高频变压器设计	146
2.5.3 开关电源的电气标准	101	第 4 章 新型开关电源的设计与应用 ...	150
2.5.4 LED 照明的国际标准	102	4.1 绿色开关电源	150
2.5.5 LED 交通道路照明标准	102	4.1.1 采用具有 ZVS 高转换效率 UCC28600 的绿色开关电源	150
第 3 章 开关电源电路结构与 LED 驱动 电源的设计应用	104	4.1.2 采用先进的“三高一小”FAN4803 的绿色开关电源	154
3.1 正激式脉宽调制变换电路	104	4.2 变频开关电源	160
3.1.1 NCP1337 的电路特点	104	4.2.1 采用适用于室内外的 UC1864 的 变频开关电源	160
3.1.2 NCP1337 电路的工作原理与 应用	106	4.2.2 采用输入电压宽、性能稳定 UC3845BN 的变频开关电源	167
3.1.3 正激式高频变压器设计	106	4.3 准谐振开关电源	170
3.1.4 DPA424R 变换 LED 驱动电路设计 应用	109	4.3.1 采用高频率、高效率 MC34067 的 准谐振开关电源	171
3.2 正激式双晶体管变换电路	111	4.3.2 采用输出低电压、大电流 L6565 的准谐振开关电源	176
3.2.1 UC3852 的电路特点	111	4.4 单片开关电源	181
3.2.2 UC3852 电路的工作原理与 应用	111	4.4.1 恒压/恒流式 LED 驱动 TOP227Y 开关电源	181
3.2.3 正激式双晶体管变换电路脉冲 变压器设计	113	4.4.2 TNY279P 高效率 LED 驱动 电源	188
3.2.4 双管正激式高频变压器设计	114	4.4.3 MC33374 的无辐射、LED 驱动 电源	192
3.3 反激式脱线变换电路	116	4.4.4 TOP246Y 的多功能 LED 驱动 电源	200
3.3.1 VIPER53 的电路特点	116	第 5 章 经济实用电源	210
3.3.2 VIPER53 电路的工作原理与 应用	117	5.1 通信电源	210
3.3.3 VIPER53 电路参数设计	118	5.1.1 采用无辐射、高可靠性 UCC3895 的通信电源	210
3.3.4 反激式高频变压器设计	119	5.1.2 采用模块式、大功率 IPM-2M500N 的通信电源	216
3.3.5 LM3445 变换 LED 驱动电路设计 应用	123	5.1.3 采用高可靠性、不间断 AC/DC、 DC/DC 两种变换 UC3848A 的 通信电源	219
3.4 半桥式变换电路	127	5.2 电视电源	221
3.4.1 概述	127	5.2.1 采用具有 APFC、抗 EMI 的 TEA2261 的电视电源	221
3.4.2 TL494 的电路特点	128	5.2.2 采用具有电荷泵电压转换的 ICEIQS01 的液晶电视电源	222
3.4.3 TL494 电路的工作原理与应用 ...	128	5.2.3 采用厚膜 TCL2908 的彩电电源 ...	229
3.4.4 TL494 的保护电路	132		
3.4.5 半桥式高频变压器设计	132		
3.4.6 PLC810PG 变换 LED 驱动电路 设计应用	134		
3.5 桥式变换电路	138		
3.5.1 UC3525B 的电路特点及其应用 ...	138		
3.5.2 UC3525B 电路的工作原理	139		
3.5.3 桥式变换电路变压器设计	141		
3.6 推挽式变换电路	144		
3.6.1 概述	144		

5.3 计算机电源	233	6.5.1 反激式变换电路优化设计	275
5.3.1 采用高效无辐射 SG3535A 的 笔记本电脑电源	233	6.5.2 半桥式变换电路优化设计	275
5.3.2 采用具有自动恢复功能的 CW3524 的笔记本电脑电源	236	6.5.3 全桥式变换电路优化设计	280
5.3.3 采用低电流启动、离线式 LM5021 的台式电脑电源	238	6.5.4 控制电路优化设计	281
5.4 充电器电源	242	6.6 LED 驱动电源优化设计	284
5.4.1 采用单片恒功率 LNK501 的手机 充电电源	242	6.6.1 LED 驱动电源优化设计目的	284
5.4.2 采用截流式恒功率电动自行车用 6N60 的充电电源	243	6.6.2 Webench Visualizer 设计 LED 简介	284
5.5 工业用电源	246	6.6.3 Webench Visualizer 设计工具 工作原理及特点	285
5.5.1 采用智能化数控机床用 NCP1280 的工业电源	246	6.6.4 Webench LED 软件的使用方法	286
5.5.2 采用能自动提高功率 PKS606Y 的 打印机电源	250	6.6.5 Webench LED 热仿真	291
5.5.3 采用脉冲比率控制模式 IR4015 的 锅炉仪表电源	253	第 7 章 有源、无源功率因数校正与 电源效率	298
5.6 军工电源	256	7.1 电流谐波	298
5.6.1 采用四路控制 TL1464 的军工开关 电源	257	7.1.1 电流谐波的危害	299
5.6.2 采用高效平板变压器 IR2086 的 航天开关电源	259	7.1.2 功率因数	299
第 6 章 软开关技术与 LED 电源优化 设计	263	7.1.3 功率因数与总谐波含量的关系	300
6.1 软开关功率变换技术	263	7.1.4 功率因数校正的意义与基本 原理	301
6.1.1 硬开关转换功率损耗	263	7.2 有源功率因数校正	302
6.1.2 准谐振变换电路的意义	264	7.2.1 有源功率因数校正的主要优 缺点	302
6.2 零开关脉宽调制变换电路	264	7.2.2 有源功率因数校正的控制方法	304
6.2.1 ZCS-PWM 变换电路	264	7.2.3 峰值电流控制法	304
6.2.2 ZVS-PWM 变换电路	265	7.2.4 滞环电流控制法	305
6.3 零开关脉宽调制转换变换电路	266	7.2.5 平均电流控制法	307
6.3.1 ZCT-PWM 转换变换电路	266	7.3 有源功率因数校正电路设计	308
6.3.2 ZVT-PWM 转换变换电路	267	7.3.1 峰值电流控制法电路设计	308
6.4 DC/DC 零电压开关脉宽调制变换 电路	269	7.3.2 UC3854 用平均电流控制法电路 设计	315
6.4.1 DC/DC 有源钳位正激式变换 电路	269	7.3.3 M14813 用滞环电流控制法电路 设计	318
6.4.2 DC/DC 有源钳位反激式变换 电路	270	7.4 无源功率因数校正电路设计	322
6.4.3 DC/DC 有源钳位正反激式组合 变换电路	271	7.4.1 无源功率因数校正电路的基本 原理	322
6.5 开关电源优化设计	274	7.4.2 无源功率因数校正电路设计	322
		7.5 电源效率	324
		7.5.1 高频变压器性能的提高	324
		7.5.2 开关电源效率的提高	325
		7.5.3 PCB 设计质量的提高	328
		7.5.4 开关电源怎样实现准谐振	329
		第 8 章 PCB 设计技术	333
		8.1 PCB 技术应用	333

8.1.1 PCB 的类型	333	8.2.1 表面积层技术	339
8.1.2 PCB 的布局、布线要求	334	8.2.2 微孔技术	339
8.1.3 PCB 的设计过程	335	8.2.3 平板变压器设计技术	340
8.1.4 PCB 的总体设计原则	336	8.3 PCB 可靠性设计	341
8.1.5 PCB 的布线技巧	337	8.3.1 PCB 的地线设计	341
8.1.6 元器件放置要求及注意事项	338	8.3.2 PCB 的热设计	341
8.2 PCB 抑制电磁干扰的新技术	338	8.3.3 PCB 的抗干扰技术设计	342

第1章 开关电源与LED驱动基础知识

1.1 开关电源与LED照明的定义

1.1.1 什么是开关电源

开关稳压电源简称开关电源 (Switching Power Supply), 是将一种电源形态变换成另一种形态的电源。它是利用现代电力电子技术, 通过控制开关管通断的时间比例来输出稳定电压的一种电源, 具有体积小、重量轻、功耗低、效率高、纹波小、智能化程度高、使用方便等优点。电源广泛用于通信、仪器仪表、工业自动化、航空航天、家用电器等领域。随着电力电子技术的发展, 特别是大功率器件 MOSFET 和 IGBT 的问世更新, 将开关电源的工作频率提高到相当高的水平, 使其具有更高的稳定性和高性价比等特性, 被誉为高效节能电源, 代表着电源发展的方向。

开关电源在变换过程中, 用高频变压器将一次侧与二次侧隔离, 称之为离线式开关变换器 (Off-line Switching Converter), 常用的 AC-DC 变换器就是离线式开关变换器。输入电压经低通滤波, 进入桥式整流, 直接接到用电负载, 称为非隔离式开关变换器。凡是用半导体功率器件作开关, 将一种电源形态变换成另一种形态的电路, 叫做开关变换电路。在变换时, 以自动控制稳定输出并有各种保护称之为完全开关电源。

开关电源由两大部分组成, 即主电路和控制电路。主电路由输入电路、功率变换电路和输出电路组成; 控制电路则由信号取样电路、控制电路和频率振荡发生器组成。输入电路由低通滤波电路和一次整流电路构成。220V 交流电经低通滤波电路和桥式整流电路后得到未稳压的直流电压 V_1 , 脉动电压经功率因数校正, 使它的输入电流与输入电压同相, 得到功率因数高、谐波含量低的直流高压, 此电压经电子开关和高频变压器进行电能转换, 这样直流电压变换成受控制的、符合设计要求的高频方波脉冲电压, 高频电压经第二次整流滤波后变为直流电压输出。最后, 将输出电压经过分压采样与设置的基准电压进行比较放大进入频率振荡发生器, 产生一个高频信号, 该信号与控制信号叠加进行脉宽或频率调制, 达到脉冲宽度或频率可调, 可改变或调整输出电压的高低。所以说, 开关电源的实质是电压转换, 如图 1-1 所示。

高频电子开关是电能转换的主要手段和方法。在一个电子开关周期 T 内, 电子开关的接通时间 t_{on} 与一个电子开关周期 T 所占时间之比, 叫接通占空比 (D), $D = t_{on}/T$, 如图 1-2 所示。

断开时间 t_{off} 所占周期 T 的比例称为断开占空比 (D'), $D' = t_{off}/T$ 。开关周期等于开关频率的倒数, 即 $T = 1/f$ 。例如, 一个开关电源的工作频率是 50kHz, 它的周期 $T = 1/50 \times 10^3 \mu s = 20 \mu s$ 。很明显, 接通占空比 D 越大, 变换器输出电压越高, 表明电子开关接通的时间越长, 负载感应电压越高, 工作频率也越高。这对于开关电源的高频变压器实现小型化有帮助, 同时, 能量传递的速度也快。但是, 开关电源中的开关功率管、高频变压器、控制集成电路以及输入整流二极管由于工作频率提高, 导致发热量高、损耗大、效率低。对于不同的变换器形式, 所选用的占空比大小是不一样的。

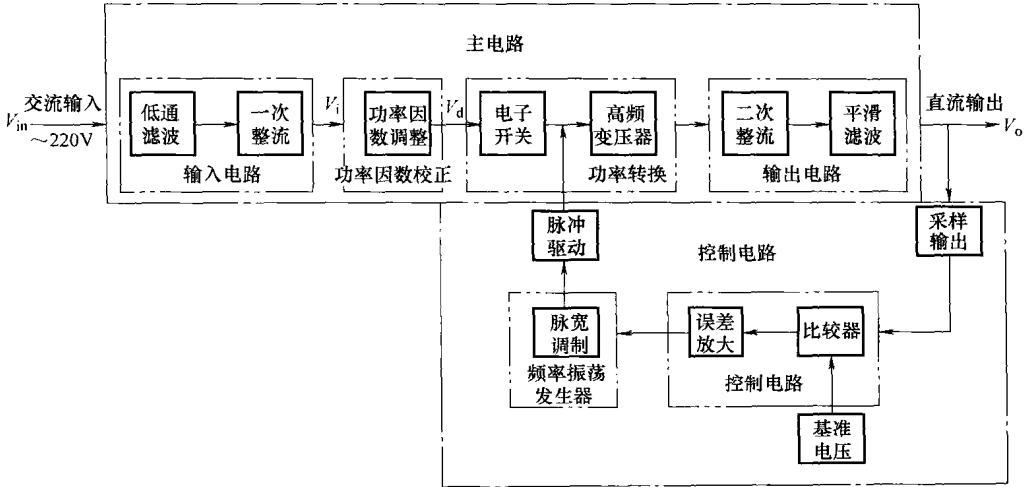


图 1-1 开关电源工作原理框图

开关电源与铁心变压器电源以及其他形式的电源比较起来具有较多的优点：

一是节能。绿色电源是开关电源中用途最为广泛的电源，它的效率一般可以达到 85%，质量好的可以达到 95% 甚至更高，而铁心变压器的效率只有 70% 或者更低。美国一般家用电器和工业电气设备的单机能源效率大于 92%。美国的“能源之星”对电子镇流器、开关电源以及家用电器的效率都制定有很仔细的、非常严格的规章条款。

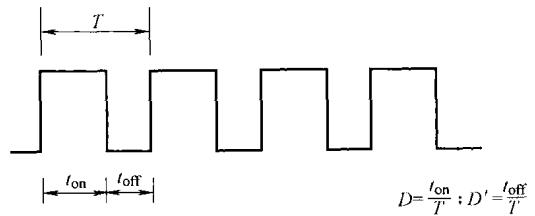


图 1-2 占空比示意图

二是体积小，重量轻。据统计，100W 铁心变压器的重量为 1200g 左右，体积达 350cm³，而 100W 开关电源的重量只有 250g，而且敞开式电源更轻，体积不到铁心变压器的 1/4。

三是开关电源具有各种保护功能，不易损坏。而其他的电源由于本身原因或使用不当，发生短路或断路的事故较多。

四是改变输出电流、电压比较容易，且稳定、可控。

五是根据人们的要求，可设计出各种具有特殊功能的电源，如数字化电源、程序遥控电源等等，以满足人们的需要。

1.1.2 开关电源的分类

目前开关电源的种类很多，从工作性质来分，可分为“硬开关”和“软开关”两种。所谓硬开关，是指电子脉冲、外加控制信号强行对电子开关进行“通”和“断”，而与电子开关自身流过的电流以及两端施加的电压无关。显然，开关在接通和关断期间是有电流、电压存在的，因此这种工作方式是有损耗的。但是它比其他变换电源的控制形式简单得多，成本也较低，所以硬开关在很多地方仍然在应用，如脉宽调制（Pulse Width Modulation, PWM）器就属于硬开关。目前，很多开关电源都用 PWM 来控制。另一类叫做软开关，电子

开关在零电压下导通，在零电流下关断。可见，电子开关是在“零状态”下工作的，所以理论上它的损耗为零，软开关对浪涌电压、脉冲尖峰电压的抑制能力很强，其工作频率可以提高到5MHz以上，开关电源的重量和体积则可进行更大的改变。为了实现零电压“通”和零电流“断”，我们常采用谐振的方法。从电子理论可知道，谐振就是容抗等于感抗，总的电抗为零，电路中的电流为无穷大。如果正弦波电压加到并联的电感回路上，这时电感上的电压就为无穷大。利用谐振电路可实现正弦波振荡，当振荡到零时，电子开关导通，称之为零电压导通（Zero Voltage Switching, ZVS）。同样，流过电子开关的电流振荡到零时，电子开关关断，称之为零电流关断（Zero Current Switching, ZCS）。总之，电子开关具有零电压导通、零电流关断的外部条件，这种变换器称为准谐振变换器。它是在脉宽调制器上附加谐振网络而形成的，固定电子开关导通时间，通过调整振荡频率，最终使电路产生谐振，从而获得准谐振变换器的模式。准谐振变换器开关电源的输出电压不随输入电压的变化而变化，它的输出电流也不随用电负载的变化而变化，这种开关电源的主变换器依靠开关频率来稳定输出参数，我们称之为调频开关电源。调频开关电源没有脉冲调制开关电源那么容易控制，再加上准谐振电路电压峰值高，开关所受到的应力大，目前还没有得到广泛应用。

DC/DC 变换类型是开关电源变换的基本类型，它通过控制开关通断时间的比例，用电抗器与电容器上蓄积的能量对开关波形进行微分平滑处理，从而更有效地调整脉冲的宽度及频率。从输入、输出有无变压器隔离来说，DC/DC 变换分为有变压器隔离和没有变压器隔离两类。每一类有6种拓扑，即降压式（Buck）、升压式（Boost）、升压-降压式（Buck-Boost）、串联式（Cuk）、并联式（Sepic）以及塞达式（Zeta）。按激励方式分，有自激式和他激式两种。自激式包括单管式和推挽式，他激式包括脉冲调频式（PFM）、脉冲调宽式（PWM）、脉冲调幅式（PAM）和脉冲谐振式（RSM）4种，我们用得最多的是脉冲调宽式变换器。脉冲调宽式变换器有以下几种：正激式（Forward Converter Mode）、反激式（Feed-back Converter Mode）、半桥式（Half Bridge Mode）、全桥式（Overall Bridge Mode）、推挽式（Push Draw Mode）和阻塞式（Ringing Choke Converter）等6种。

按谐振方式分，有串联谐振式、并联谐振式和串并联谐振式；按能量传递方式分，有连续模式和不连续模式两种。凡是以脉冲宽度来调制的电子开关变换器都叫PWM变换器。

1.1.3 什么是LED照明

LED（Light Emitting Diode，发光二极管）是将电信号转换为光信号的半导体发光器件。它具有正向导通、反向截止及超压击穿特性，具有PN结，在正电压作用下，电子从N结层进入P结层，而空穴反其道而行之，空穴与电子进行对结层时，少数自由电子与多数载流子相碰撞而发光，其发光波长 λ 与半导体材料的结层宽度 E_g 有关。LED照明是开关电源应用的一部分。

$$\lambda = 1245/E_g$$

式中， λ 单位是nm； E_g 是半导体材料禁带宽度，单位是eV（电子伏特）。

当PN结两端电压超过器件的导通电压时，器件的工作电流急剧上升，其亮度 L_v （cd/m²）与正向工作电流 I_F 成正比。

$$L_v = KI_F^m$$

式中, K 为比例系数; m 为 I_F 工作电流指数。

当 $I_F > 10\text{mA}$ 时, $m = 1$, 上式简化为 $L_V = KI_F$, 即 LED 的发光亮度与正向工作电流成正比。值得注意的是, LED 的使用寿命还与电流密度 J 、工作温度有关。

磷砷化镓 LED 的发光峰值波长, 其发光的颜色属于单色光, 它的波长顺序是: 红色光 655nm, 橙色光 630nm, 黄色光 585nm, 绿色光 565nm, 蓝色光 440nm。白光 LED 产品是利用三基色红、绿、蓝混合成白光的, 不同的器件材料将产生不同的彩光。

1.1.4 LED 的型号分类

LED 的型号繁多, 类别不少, 功能各异, 可从发光颜色、发光亮度、工作功率、控制类型、变色方式以及灯的用途来分, 见表 1-1。

表 1-1 LED 型号分类

LED 分类方式	LED 类别	特点说明
按亮度分类	普通亮度	发光强度小于 100mcd
	高亮度	发光强度为 100 ~ 1000mcd
	超高亮度	发光强度大于 1000mcd
按输出功率分类	小功率	工作电流小于 50mA
	中功率	工作电流为 50 ~ 150mA
	大功率	工作电流大于 150mA
按发光颜色分类	红光	$\lambda = 655\text{nm}$, 典型值为 2.3V、400mA
	橙光	$\lambda = 585\text{nm}$, 典型值为 3.0V、400mA
	黄光	$\lambda = 585\text{nm}$, 典型值为 3.2V、350mA
	绿光	$\lambda = 565\text{nm}$, 典型值为 3.5V、350mA
	蓝光	$\lambda = 440\text{nm}$, 典型值为 3.5V、350mA
	白光	$\lambda = 590\text{nm}$, 典型值为 3.7V、350mA
按控制类型分类	电流控制	普通 LED 所受控制管理
	电压控制	BTV 器件, 芯片集成有限流装置
	PWM 控制	BTV 器件, 芯片集成有振荡、分频、驱动和 LED 部件
按变色方式分类	双色	用于电源极性指示
	三色	用于彩色 LED 显示屏
	彩色	GRB-LED 用于彩色照明和全彩 LED 显示屏
按用途分类	LED 照明灯	建筑照明灯、交通指示灯、汽车照明、家用照明、道路照明
	LED 指示灯	用于各种电子设备信号指示
	LED 显示器	用于数字智能化仪器仪表
	LED 点阵	用于大屏幕显示屏
按封装形式分类	全环氧树脂封装	封装, 是把 LED 封装材料改装 LED 灯的过程, 它经过扩晶、固晶、焊接、灌胶、切脚、分光等流程。它关系到封装的亮度、颜色、抗静电、抗衰减等
	金属底座全环氧树脂封装	
	陶瓷底座环氧树脂封装	
	玻璃封装	
	表贴式封装	微型 LED, 制作高清晰度大屏幕 LED 显示屏

(续)

LED 分类方式	LED 类别	特点说明
按驱动方式分类	模拟/PWM 调光 LED 驱动	输入电压为 6 ~ 36V, I_o 为 1.5A, 具有各种保护
	TKIAC(双向晶闸管调光 LED 驱动)	交流输入电压为 90 ~ 305V, $\cos\phi > 0.96$, $\mu > 0.8$ J
	数字调光 LED 驱动	输入电压为 5.9 ~ 76V, $I_o = 1.33A$, 单色、多色、全彩

1.1.5 LED 照明灯的主要参数

LED 照明灯是人类照明历史上第四次革命: 第一次是钻木取火, 第二次是爱迪生发明白炽灯, 第三次是荧光灯, 第四次灯的革命是 LED 照明灯, 把发光源的光通量提高了 20 多倍。它的主要特点是: ①发光效率高, 白炽灯的发光效率仅为 22lm/W, 荧光灯为 60lm/W, 高压钠灯为 110lm/W, 而 LED 灯则高达 200lm/W。②发光响应速度快, 极容易启动, 不受温度高低的限制。③调光方便, 可采用模拟调光、脉宽调光、双向晶体管调光和数字调光。根据需要, 任意选用。④具有较好的方向性, 不产生闪烁散射等现象。⑤有绿色环保价值, LED 灯不含汞、铅、镉等有害物质, 不污染环境, 光线中不含紫外线和红外线, 不产生电磁干扰。⑥使用方便, 调光较为简单, 可与太阳能电池配套使用, 体积小、耐冲击。⑦使用寿命长是 LED 照明灯最为显著的特点, 一般可达 50000h 以上, 普通白炽灯只有 2000h, 荧光灯也只有 10000h。

有这么多优点, 而要维护这些优点是靠生产标准和技术参数来支持的。主要技术参数如下:

- 1) 寿命: LED 的光通量衰减到初始值的 $\sqrt{2}/2$ 时的工作时间。正常寿命为 50000h。
- 2) 正向电流 I_F : LED 器件按规定通电, LED 发光时的工作电流。普通 LED 的正向电流为 20mA, 小功率 LED 的正向电流小于 100mA, 大功率 LED 的正向电流大于 350mA。
- 3) 正向电压 V_F : LED 器件按规定通电, LED 流过正向电流, 这时器件两极所产生的压降。
- 4) 最大正向电流 I_{FM} : 在 LED 器件上, 允许通过的最大电流。
- 5) 反向电压 V_R : 在规定值 LED 器件所通过的反向电流, 这时器件所产生的压降。
- 6) 反向电流 I_R : 在规定值 LED 器件所加的反向电压, 这时器件所流过的电流。
- 7) 额定功率 P_D : 在 LED 器件上, 允许两端所加的最大电压和器件上流过的最大电流之积。
- 8) 结温 T_j : LED 器件的温度, 它是影响 LED 寿命的主要参量。
- 9) 热阻 R_Q : LED 器件有效温度与外部规定参照点的温度之差与这时器件所消耗的功率之比。

1.2 开关电源的结构形式

1.2.1 反激式单晶体管变换电路

所谓反激式是指变压器的一次侧极性与二次侧极性相反, 其基本电路如图 1-3 所示。

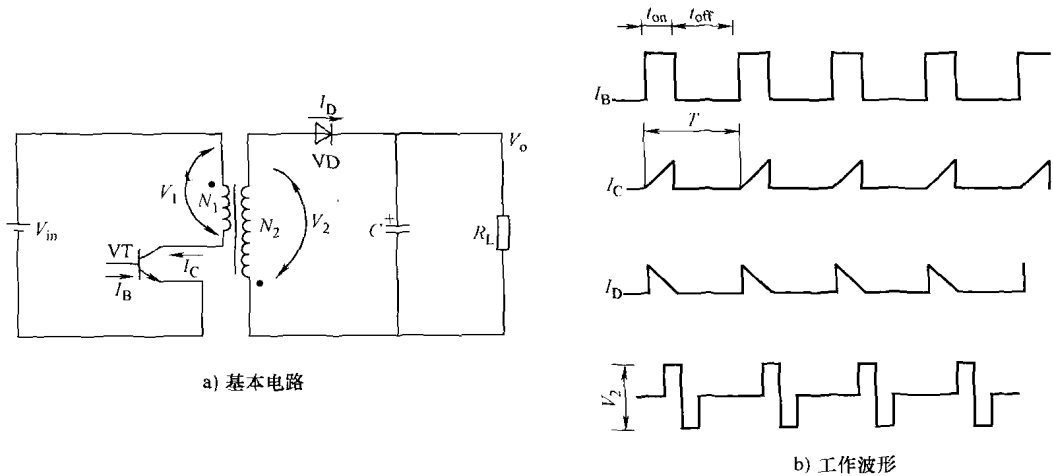


图 1-3 反激式变换电路

如果变压器的一次侧上端为正，则二次侧上端为负。反激式变换器效率高，能提供多路输出，所以得到了广泛应用。但是在二次侧输出的电压中，有较大的纹波电压。为了解决这一问题，只有加大输出滤波电容和电感，但这样做的结果是增大了电源的体积。最近，开发人员发现利用小型 LC 噪声滤波器效果比较好。反激式变换器有两种工作模式：一种是完全能量转换，即变压器在储能周期 t_{on} 中储存的所有能量在反激周期 t_{off} 中传递输送出去；另一种是不完全能量转换，即变压器在储能周期 t_{on} 中储存的部分能量在反激周期 t_{off} 中一直保存着，直至等到下一个储能周期 t_{on} 。在脉宽调制开关变换器中引用完全能量转换模式，可以减少控制电路触发脉冲的宽度，但也会出现波形失真和调制困难等一些问题。

反激式变换器是怎样工作的呢？当开关晶体管 VT 截止时（见图 1-3a），变压器一次侧所积蓄的电能向二次侧传送，这时变压器二次绕组下端为负、上端为正，二极管 VD 正向导通，导通电压经电容 C 滤波后向负载 R_L 供给电能。当变压器一次侧储存的电能释放到一定程度后，电源电压 V_{in} 通过变压器的一次绕组 N_1 向晶体管的集电极充电， N_1 又开始储能。 V_1 上升到一定程度后，晶体管 VT 截止，又开始了新一轮放电。在充电周期，变换器的输出电压为 $V_o = (N_2/N_1) V_{in} D$ 。从图 1-3b 可以看出，开关管与整流二极管的电流波形为相位相差 180° 的两个锯齿波。

1.2.2 反激式双晶体管变换电路

开关电源的功率在 200W 以上时，不宜采用反激式单晶体管变换电路，这时可以利用反激式双晶体管结构，两管可用双极型晶体管或功率场效应晶体管。其中，场效应晶体管特别适用，无论是固定频率、可变频率、完全和不完全能量传递方式，还是电源价格比，用场效应晶体管代替双极型晶体管是首选方案。

反激式双晶体管变换电路的基本电路如图 1-4a 所示。高频变压器 TR_1 的一次绕组通过两只场效应晶体管接到直流电源 V_{in} 上。两只场效应晶体管需要同时导通、同时截止，要达到的要求通过两个相同相位但又互相隔离的信号，一般用一只双路输出的变压器 TR_2 。与前面介绍的反激式单晶体管变换电路一样，场效应晶体管导通时，只把能量存在磁路中；场

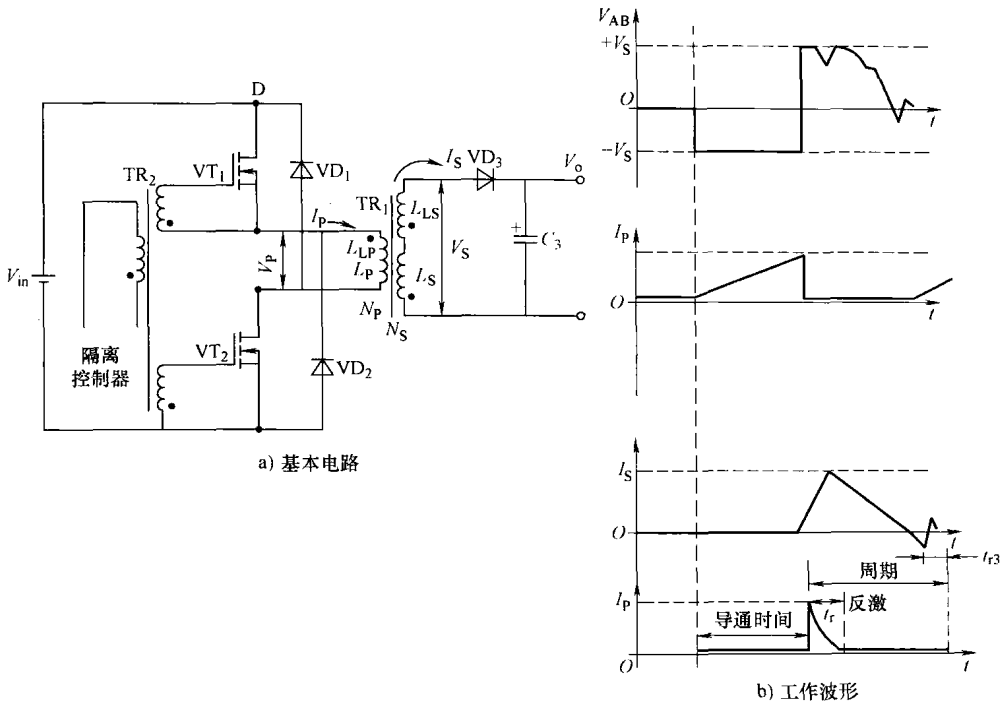


图 1-4 反激式双晶体管变换电路

效应晶体管截止时，磁能转化为电能送到负载中。二极管 VD_1 、 VD_2 是交叉连接的，这样可把过剩的能量反馈回电源 V_{in} 中，并把两只场效应晶体管都钳位在 V_{in} 电压水平上。所以，采用市电桥式整流的电路，可选用耐压为 400V 的场效应晶体管。

在图 1-4a 所示电路中，变压器漏感起着重要作用。当 VT_1 和 VT_2 导通时，直流电压 V_{in} 加在变压器一次绕组 N_p 上。设绕组的同名端为正，那么输出整流二极管 VD_3 将正向偏置且导通，这样二次绕组中有电流流通，它的漏感为 L_{LS} 。在导通期间，变压器一次绕组的电流呈线性增加，如图 1-4b 所示。

在导通末期，储存在变压器中可耦合到二次侧的磁场能量为 $I_p^2 L_{LP} / 2$ 。一旦 VT_1 和 VT_2 同时截止，二次绕组电流 I_s 降为零。然而，磁感应强度没有改变，则通过反激作用，变压器上所有的电压将反向。二极管 VD_1 、 VD_2 也导通，一次绕组在反激电压作用下使供电电源保持 V_{in} 值。由于绕组的极性反向，二次绕组感应出的反向电动势将导致整流二极管 VD_3 截止。二次绕组感应的电流为 nI_p 值时 ($n = N_p / N_s$)，储存在二次绕组的漏感 L_{LS} 中的能量反馈到电源 V_{in} 中，则一次绕组电压 V_p 降至二次绕组反射电压。此时，二次绕组电压等于 C_3 上的电压折算到一次绕组。通过设计使钳位电压小于供电电源电压 V_{in} ，否则，反激能量将回送到供电电源中。然而，在正常条件下，对于一个完善的能量变换系统，两只场效应晶体管刚截止关断时，储存在变压器磁场中的能量将转移到输出电容和负载上。在两只场效应晶体管截止关断的末期，新一轮周期将开始。

反激式双晶体管变换电路在任何条件下，两只场效应晶体管所承受的电压都不会超过 V_{in} 。 VD_1 、 VD_2 必须是超快速恢复二极管。因为这些元器件在电压超值时特别容易损坏，与反激式单晶体管变换电路相比，开关功率管可选用较低的耐压值。

反激开始时，储存在一次漏电感中的电能经 VD_1 、 VD_2 进行反馈，系统能量损耗小、效

率高。当负载减小时，在电路导通期间，变压器一次绕组中储存过多的电能，那么，在下一个周期反激时，将电能反馈至电源 V_{in} ，降低损耗。

反激式双晶体管变换电路与反激式单晶体管变换电路相比，高频变压器不需要反馈绕组。这对于生产商来说，有利于降低成本，缩小体积。

1.2.3 正激式单晶体管变换电路

如图 1-5a 所示，正激式单晶体管变换电路的变压器纯粹是个隔离器件，它的一次侧分为两组 N_{1a} 和 N_{1b} ，中心抽头接输入电压的正极，两端分别接二极管 VD_F 和开关晶体管 VT 的集电极。二次绕组接整流二极管 VD_1 、续流二极管 VD_2 以及电感器 L 。正激式单晶体管变换电路是利用电感 L 储能及传送电能的。变压器的一次和二次绕组是相同的同名端，由于电感 L 的存在，它的电感反射到一次侧，使一次电感增大。

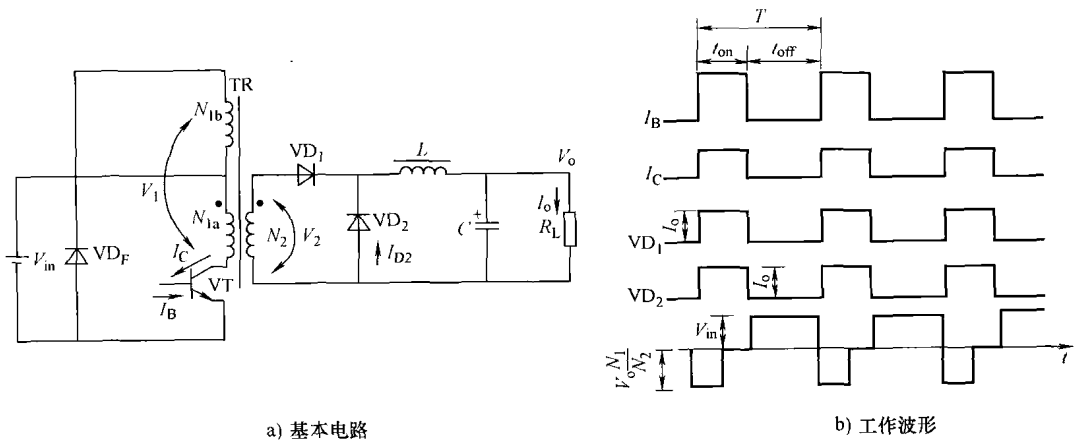


图 1-5 正激式单晶体管变换电路

正激式单晶体管变换电路的工作原理是这样的：开关晶体管 VT 截止时，在电感的反激作用下， VD_2 正向导通，导通后的电路通过电感 L 和负载 R_L 构成回路，这时电感上的电压等于输出电压 V_o 。电感 L 中存储的能量的大小将影响输出电压的峰值。由图 1-5 可知，电感电流等于峰值电流。当开关晶体管 VT 导通时，电源电压经变压器一次绕组向晶体管 VT 充电，这时变压器一次绕组 N_1 储能，而绕组 N_2 在二极管 VD_2 的作用下释放电能，结果 VD_1 导通， VD_2 截止。 VD_1 向电感 L 供电，“感化”储能，输出直流电压。当晶体管 VT 截止时，电感器 L 积蓄的电能经二极管 VD_2 整流、LC 滤波后，向负载供电。正激式单晶体管变换电路二次侧整流二极管与开关管集电极的电流是一致的。输出电压 $V_o = (N_2/N_1) V_{in} D$ 。正激式单晶体管变换电路的优点是铜损低，因为使用无气隙磁心，电感量较高，变压器的峰值电流比较小，输出电压纹波低；缺点是电路较为复杂，所用元器件多，如果有假负载存在，效率将降低。电源处于空载，也有一些损耗。它适用于低电压、大电流的开关电源，多用于 150W 以下的小功率场合。它还具有多台电源并联使用而互不影响的特点，而且可以自动均压，而反激式却不能做到这点。

1.2.4 正激式双晶体管变换电路

正激式双晶体管变换电路（又称正激式双管变换电路）是在正激式单晶体管变换电路上再串接一只晶体管而组成的，这对于高压大功率的开关电源来说更加安全可靠。安全可靠

是最大的效益，所以正激式双晶体管变换电路得到了广泛应用。

如图 1-6 所示，晶体管 VT_1 、 VT_2 在工作期间同时导通，或者同时截止。在导通时，电源电压 V_{in} 加在变压器 TR_2 的一次绕组 N_p 上。在这个工作周期里，电感 L_1 已经储存了电能，电流通过续流二极管 VD_4 后经电感器 L_1 向负载 R_L 供电。由于 VT_1 、 VT_2 的导通，变压器 TR_2 的一次绕组 N_p 向二次绕组 N_s 感应了电动势，整流二极管 VD_3 在正向电压作用下导通，便有电流 I_L 向负载 R_L 供电。但是，供电时间受到二次绕组漏感的影响， I_L 继续保持。在此期间，流经 VD_4 的电流快速减小，直至 VD_4 转为截止。当 VT_1 、 VT_2 截止时，二次绕组电压反向，这时二极管 VD_3 很快截止。在电感 L_1 的反激下， VD_4 进入导通状态，电流经 VD_4 、 L_1 向负载 R_L 供电。当 I_L 慢慢减小后，在变压器一次电压 V_{in} 的帮助下， VT_1 、 VT_2 再次进入导通状态，这就是正激式双晶体管变换电路的电能传递过程。

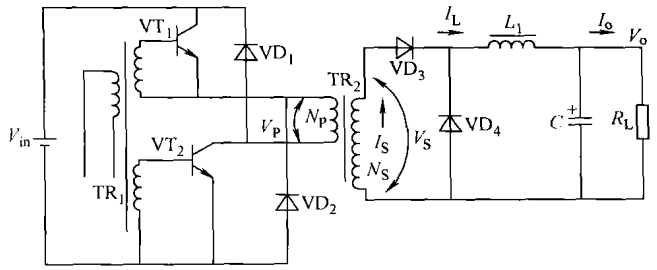


图 1-6 正激式双晶体管变换电路

1.2.5 半桥式变换电路

为了减小开关晶体管的电压应力，可以采用半桥式变换电路，它是离线式开关电源较好的拓扑结构。电容器 C_1 、 C_2 与开关晶体管 VT_1 、 VT_2 组成半桥式变换电路，如图 1-7 所示。桥的对角线接高频变压器 TR 的一次绕组。如果 $C_1 = C_2$ ，当电源 V_{in} 接通后，某一只开关晶体管导通，绕组上的电压只有电源电压 V_{in} 的一半。在稳定的条件下， VT_1 导通， C_1 上的电压 $V_{in}/2$ 加在变压器的一次绕组上。由于一次绕组电感和漏感的作用，电流继续流入一次绕组黑点标示端。如果变压器一次绕组漏感储存的电能量足够大，二极管 VD_6 导通，钳位电压进一步变负。在 VD_6 导通的过程中，反激能量对 C_2 进行充电。连接点 A 的电压在阻尼电阻的作用下，以振荡形式最后回到中间值。如果这时 VT_2 的基极有触发脉冲，则 VT_2 导通，一次绕组黑点标示电压变负， I_p 电流加上磁化电流流经一次绕组和 VT_2 ，然后重复前面的过程。不同的是 I_p 变换了方向。二极管 VD_5 对晶体管 VT_1 的导通钳位，反激能量再对电容 C_1 进行充电。

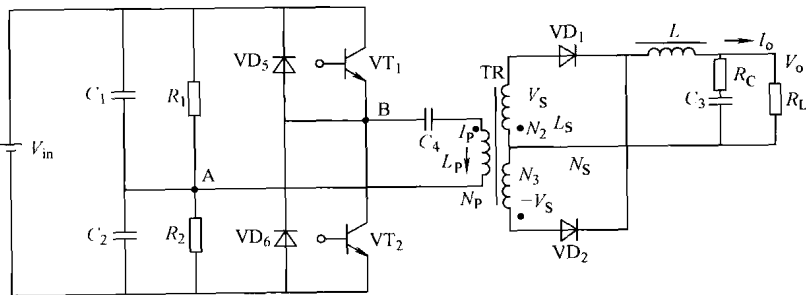


图 1-7 半桥式变换电路

二次电路的工作过程如下：当 VT_1 导通时，变压器二次绕组电压 V_s 使 VD_1 导通，这与正激式变换电路的工作相同。当 VT_1 截止时，两个绕组的电压都下降。在二次电感 L 的反激下，储能继续向负载 R_L 提供电能。当变压器二次绕组电压下降到零时，二极管 VD_2 起着