

开关电源与

+ LED 照明的设计计算

精选

赵同贺 主 编
刘 军 副主编

开关电源与LED照明
设计计算精选



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

开关电源与 LED 照明的 设计计算精选

赵同贺 主 编
刘 军 副主编



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,并对开关电源高频变压器的计算方法和电源的原理做了详细的分析。

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 照明的设计计算精选/赵同贺主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-111-43093-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 144645 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 责任校对: 樊钟英 肖琳

封面设计: 陈沛 责任印制: 杨曦

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·485 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43093-3

定价: 58.00 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

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

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，尤其对设计步骤列举了两个实例，对计算公式等方面进行了 3 种不同方式的演算，在每章的后面，给出问答题，以加深对电源的理解，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件，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。本书共分 9 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 章详细描述了开关电源变换电路的结构原理和调光 LED 的设计与应用；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；第 9 章列举了电源研发的步骤，并对元器件进行了计算。

通过实践，对部分计算公式和数据进行了修改、更正，尤其是采用了多种方式对高频变压器进行了设计计算，使之更接近于实际。

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。本书由赵同贺主编及统稿，刘军为副主编，其他编写人员有：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。

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 驱动理论 1

1.1 开关电源与 LED 照明的概述 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 照明灯的主要参数 3

1.2 开关电源的结构形式 4

1.2.1 反激式单晶体管变换电路 4

1.2.2 反激式双晶体管变换电路 5

1.2.3 正激式单晶体管变换电路 6

1.2.4 正激式双晶体管变换电路 6

1.2.5 半桥式变换电路 7

1.2.6 桥式变换电路 8

1.2.7 推挽式变换电路 8

1.2.8 升压式变换电路 9

1.2.9 降压式变换电路 10

1.2.10 升压/降压式变换电路 11

1.2.11 单端一次电感式变换电路 12

1.2.12 电荷泵式变换电路 13

1.3 开关电源元器件的特性与选用 15

1.3.1 功率开关晶体管的特性与选用 15

1.3.2 软磁铁氧体磁心的特性与选用 20

1.3.3 光耦合器的特性与选用 25

1.3.4 二极管的特性与选用 27

1.3.5 自动恢复开关的特性与选用 31

1.3.6 热敏电阻的特性与选用 33

1.3.7 TL431 精密稳压源的特性与选用 34

1.3.8 压敏电阻的特性与选用 36

1.3.9 电容器的特性与选用 36

1.4 LED 照明调光电路 42

1.4.1 LED 模拟调光电路 42

1.4.2 LED 脉宽调光电路 42

1.4.3 LED 双向晶闸管调光电路 44

1.5 问答题 46

第 2 章 开关电源电路及 LED 调光

照明设计理论 47

2.1 开关电源控制方式的设计 47

2.1.1 脉宽调制的基本原理 47

2.1.2 脉冲频率调制的基本原理 48

2.1.3 开关电源反馈电路的设计 48

2.2 开关电源各回路设计 50

2.2.1 整流滤波回路的设计 50

2.2.2 开关功率管消耗功率的计算 52

2.2.3 开关电源吸收回路设计 53

2.2.4 开关电源保护回路设计 54

2.2.5 开关电源软启动回路设计 59

2.2.6 开关电源多路输出反馈回路设计 61

2.2.7 LED 照明驱动电路设计 66

2.3 芯片 LED 驱动电源的设计 69

2.3.1 TOP204Y 恒功率调光 LED 驱动电源的设计 69

2.3.2 SG6858 脉宽调光隔离式 LED 驱动电源的设计 72

2.3.3 FT6610 非隔离式模拟调光 LED 驱动电源的设计 75

2.3.4 BP3108 双向晶闸管调光隔离式 LED 驱动电源的设计 76

2.3.5 NCP1207 软启动背光源 LED 驱动电源的设计 78

2.4 开关电源设计开发与 LED 照明应用 82

2.4.1 电磁干扰抑制方法 82

2.4.2 效率与功率因数 84

2.4.3 器件材料的选用 85

2.4.4 功率变换控制的研究 85

2.4.5 生产工艺的重要性 86

2.4.6 LED 照明寿命的探讨 86

2.4.7 LED 照明光衰对寿命的影响 87

2.5 问答题 88

第 3 章 开关电源电路结构与 LED 驱动

电源的设计应用 89

3.1 正激式脉宽调制变换电路 89

3.1.1 NCP1337 的电路特点 89

3.1.2 NCP1337 电路的工作原理与应用 91

3.1.3 正激式高频变压器设计	91	变频开关电源	145
3.1.4 DPA424R 变换 LED 驱动电路 设计应用	94	4.2.2 采用输入电压宽、性能稳定 UC3845BN 的变频开关电源	150
3.2 正激式双晶体管变换电路	96	4.3 准谐振开关电源	154
3.2.1 UC3852 的电路特点	96	4.3.1 采用高频率、高效率 MC34067 的 准谐振开关电源	154
3.2.2 UC3852 电路的工作原理与应用 ..	96	4.3.2 采用输出低电压、大电流 L6565 的准谐振开关电源	160
3.2.3 正激式双晶体管变换电路脉冲 变压器设计	98	4.4 单片开关电源	165
3.2.4 双管正激式高频变压器设计	99	4.4.1 恒压/恒流式 LED 驱动 TOP227Y 开关电源	165
3.3 反激式脱线变换电路	100	4.4.2 TNY279P 高效率 LED 驱动 电源	172
3.3.1 VIPER53 的电路特点	100	4.4.3 MC33374 的无辐射、LED 驱动 电源	176
3.3.2 VIPER53 电路的工作原理与 应用	101	4.4.4 TOP246Y 的多功能 LED 驱动 电源	178
3.3.3 VIPER53 电路参数设计	102	4.5 问答题	187
3.3.4 反激式高频变压器设计	104	第 5 章 经济实用电源	189
3.3.5 LM3445 变换 LED 驱动电路设计 应用	108	5.1 通信电源	189
3.4 半桥式变换电路	112	5.1.1 采用无辐射、高可靠性 UCC3895 的通信电源	189
3.4.1 概述	112	5.1.2 采用高可靠性、不间断 AC/DC、DC/DC 两种变换 UC3848A 的通信电源	195
3.4.2 TL494 的电路特点	113	5.2 电视电源	197
3.4.3 TL494 电路的工作原理与应用 ..	114	5.2.1 采用具有 APFC、抗 EMI 的 TEA2261 的电视电源	197
3.4.4 TL494 的保护电路	117	5.2.2 采用具有电荷泵电压转换的 ICEIQS01 的液晶电视电源	198
3.4.5 半桥式高频变压器设计	118	5.3 计算机电源	205
3.4.6 PLC810PG 变换 LED 驱动电路 设计应用	120	5.3.1 采用高效无辐射 SG3535A 的笔记 本电脑电源	206
3.5 桥式变换电路	124	5.3.2 采用具有自动恢复功能的 CW3524 的笔记本电脑电源	208
3.5.1 UC3525B 的电路特点及其应用 ..	124	5.3.3 采用低电流启动、离线式 LM5021 的台式电脑电源	211
3.5.2 UC3525B 电路的工作原理	124	5.4 充电器电源	214
3.5.3 桥式变换电路变压器设计	127	5.4.1 采用单片恒功率 LNK501 的手机 充电电源	215
3.6 推挽式变换电路	129	5.4.2 采用截流式恒功率电动自行车用 6N60 的充电电源	215
3.6.1 概述	129	5.5 工业用电源	218
3.6.2 UC3825 的电路特点	130	5.5.1 采用智能化数控机床用 NCP1280 的工业电源	218
3.6.3 UC3825 电路的工作原理与 应用	131		
3.6.4 推挽式高频变压器设计	131		
3.7 问答题	134		
第 4 章 新型开关电源的设计与应用 ..	135		
4.1 绿色开关电源	135		
4.1.1 采用具有 ZVS 高转换效率 UCC28600 的绿色开关电源	135		
4.1.2 采用先进的“三高一小”FAN4803 的绿色开关电源	139		
4.2 变频开关电源	145		
4.2.1 采用适用于室内外的 UC1864 的			

5.5.2 采用脉冲比率控制模式 IR4015 的 锅炉仪表电源	222	7.3 有源功率因数校正电路设计	254
5.6 军工电源	225	7.3.1 峰值电流控制法电路设计	254
5.6.1 采用四路控制 TL1464 的军工开关 电源	226	7.3.2 UC3854 用平均电流控制法电路 设计	261
5.6.2 采用高效平板变压器 IR2086 的 航天开关电源	228	7.3.3 ML4813 用滞环电流控制法电路 设计	264
5.7 问答题	231	7.4 无源功率因数校正电路设计	267
第 6 章 软开关技术与 LED 电源 设计	232	7.4.1 无源功率因数校正电路的基本 原理	267
6.1 软开关功率变换技术	232	7.4.2 无源功率因数校正电路设计	268
6.1.1 硬开关转换功率损耗	232	7.5 电源效率	269
6.1.2 准谐振变换电路的意义	233	7.5.1 高频变压器性能的提高	269
6.2 零开关脉宽调制变换电路	233	7.5.2 开关电源效率的提高	270
6.2.1 ZCS-PWM 变换电路	233	7.5.3 PCB 设计质量的提高	274
6.2.2 ZVS-PWM 变换电路	234	7.5.4 开关电源怎样实现准谐振	274
6.3 零开关脉宽调制转换变换电路	235	7.6 问答题	277
6.3.1 ZCT-PWM 转换变换电路	235	第 8 章 PCB 设计技术	278
6.3.2 ZVT-PWM 转换变换电路	236	8.1 PCB 技术应用	278
6.4 DC/DC 零电压开关脉宽调制变换 电路	238	8.1.1 PCB 的类型	278
6.4.1 DC/DC 有源钳位正激式变换 电路	238	8.1.2 PCB 的布局、布线要求	279
6.4.2 DC/DC 有源钳位反激式变换 电路	239	8.1.3 PCB 的设计过程	280
6.4.3 DC/DC 有源钳位正反激式组合 变换电路	240	8.1.4 PCB 的总体设计原则	281
6.5 问答题	243	8.1.5 PCB 的布线技巧	282
第 7 章 有源、无源功率因数校正与 电源效率	244	8.1.6 元器件放置要求及注意事项	283
7.1 电流谐波	244	8.2 PCB 抑制电磁干扰的新技术	283
7.1.1 电流谐波的危害	245	8.2.1 表面积层技术	283
7.1.2 功率因数	245	8.2.2 微孔技术	284
7.1.3 功率因数与总谐波含量的关系	246	8.2.3 平板变压器设计技术	284
7.1.4 功率因数校正的意义与基本 原理	247	8.3 PCB 可靠性设计	285
7.2 有源功率因数校正	248	8.3.1 PCB 的地线设计	286
7.2.1 有源功率因数校正的主要优 缺点	248	8.3.2 PCB 的热设计	286
7.2.2 有源功率因数校正的控制方法	250	8.3.3 PCB 的抗干扰技术设计	287
7.2.3 峰值电流控制法	250	8.4 问答题	288
7.2.4 滞环电流控制法	251	第 9 章 研发开关电源的程序步骤	289
7.2.5 平均电流控制法	253	9.1 开关电源研发程序	289
		9.1.1 审题, 确定实施方案	289
		9.1.2 电路的设计与选用	289
		9.1.3 元器件的选用设计计算	290
		9.1.4 PCB 的设计	290
		9.1.5 项目预算	291
		9.2 UCC28600 研发实例一	291
		9.2.1 用户市场要求及可行性	291
		9.2.2 UCC28600 的功能特点	291
		9.2.3 UCC28600 电路 PFC 的设计	

计算	292	9.3 UC3842 研发实例二	302
9.2.4 UCC28600 电路高频变压器的设计		9.3.1 UC3842 电路应用的意义	302
计算方法一	295	9.3.2 UC3842 电路的特点和结构	302
9.2.5 UCC28600 电路高频变压器的设计		9.3.3 UC3842 电路元器件的计算	303
计算方法二	296	9.3.4 UC3842 电路高频变压器的设计	
9.2.6 UCC28600 电路高频变压器的设计		计算方法一	304
计算方法三	297	9.3.5 UC3842 电路高频变压器的设计	
9.2.7 UCC28600 电路 PWM 的计算	299	计算方法二	305
9.2.8 UCC2860 电路输出控制元件的		9.3.6 UC3842 电路高频变压器的设计	
计算	300	计算方法三	306

第 1 章 开关电源与 LED 驱动理论

1.1 开关电源与 LED 照明的概述

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。这种转换是自动控制的，并具有各种保护。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_i ，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。

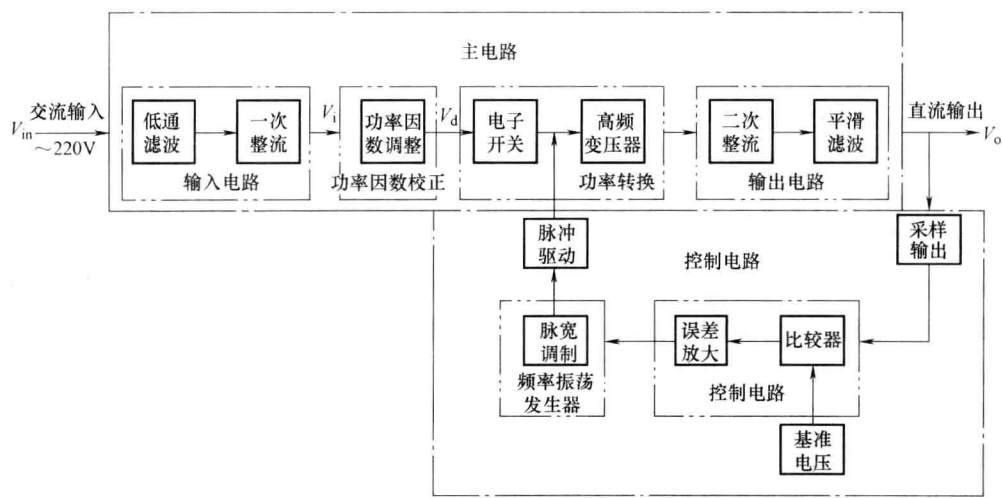


图 1-1 开关电源工作原理框图

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 $T=1/50 \times 10^3 \mu\text{s} = 20\mu\text{s}$ 。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。

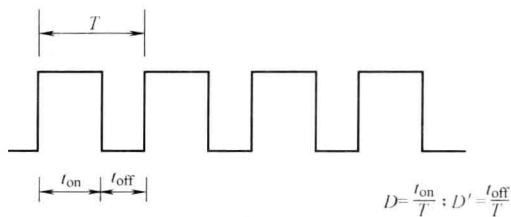


图 1-2 占空比示意图

对于不同的变换器形式, 所选用的占空比大小是不一样的。

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。

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 350cm^3 , 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, 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:

1) 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 器来控制。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。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。

2) 从转换方式分:有AC/DC、DC/DC、DC/AC和AC/AC四种。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,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。

3) 从输入、输出有无变压器隔离来分: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(Zata)。

4) 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6种:正激式(Forward Converter Mode)、反激式(Feedback 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)。

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 的单位是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。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 1-3），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

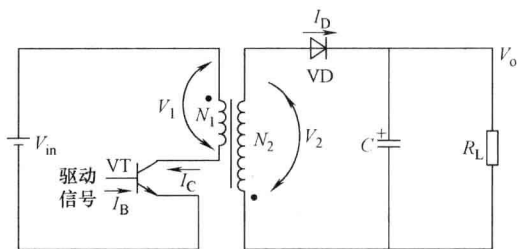


图 1-3 反激式变换电路

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 VT 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 $V_o = (N_2/N_1) V_{in} D$ 。

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 1-4 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, 要达到目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。

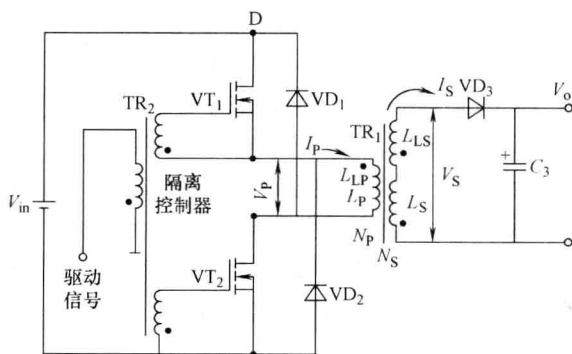


图 1-4 反激式双晶体管变换电路

在图 1-4 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。

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 1-5 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。

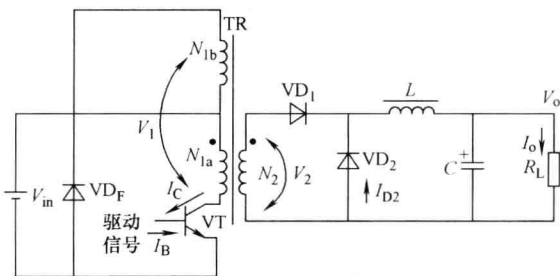


图 1-5 正激式单晶体管变换电路

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。由电容滤波输出电压 $V_o = (V_{in} \cdot n/\mu - V_D)/\sqrt{2}/\frac{2}{\pi}$ 。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联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转换过程。

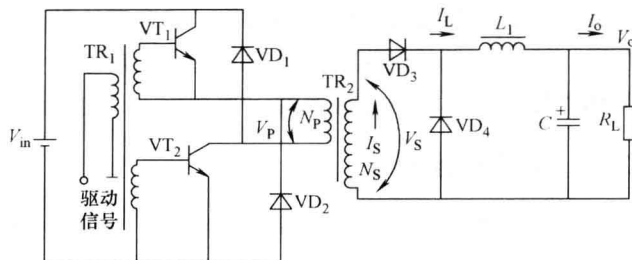


图 1-6 正激式双晶体管变换电路

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识端。如果变压器一次绕组漏感储存的电感足够大, 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, 一次绕组黑点标识电压变负, 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。

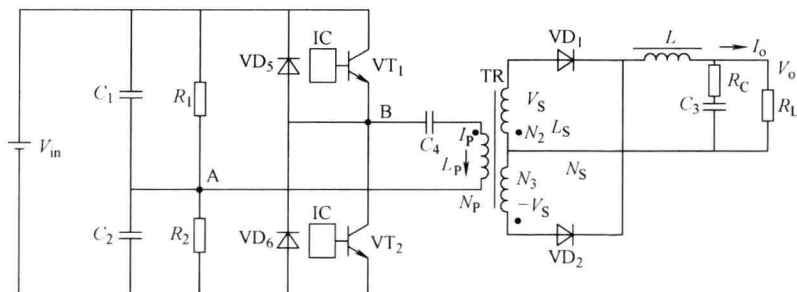


图 1-7 半桥式变换电路

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 起着续流作用, 二次电压 V_s 下降到零。在稳定的条件下, 晶体管处于导通期间, 通过 L 的电流增加; 当晶体管关断截止时, L 上的电流减小, 这期间它的平均值等于输出电流 I_o 。输出电压为

$$V_o = \frac{V_{in} t_{on}}{N_p T} N_s = \frac{N_s}{N_p} V_{in} D$$

由上式可知, 通过控制占空比, 在电源电压 V_{in} 和负载电流 I_o 发生变化时, 可以保持输出电压 V_o 不变。

半桥式变换电路要求 VT_1 、 VT_2 具有相同的开关特性, 但是即使是在相同的基极脉冲宽

度的作用下,也很难保证两只晶体管导通和截止的时间相同。如果用这种不平衡的波形驱动变压器,将会产生偏磁现象,其结果将导致磁心产生磁饱和,从而降低了效率,严重时将导致晶体管烧毁。解决的办法是在一次侧加一只电容 C_4 。

1.2.6 桥式变换电路

桥式变换电路由 4 只开关晶体管组成,与前面介绍的半桥式变换电路相比,多了两只晶体管,如图 1-8 所示。在一个电子开关周期中,4 只晶体管中每一条对角线上的两只管子为一组。它们的“开”和“关”与占空比有关。当给 VT_1 、 VT_3 以等量触发脉冲时,两只晶体管同时导通,等到触发脉冲消失后,两只晶体管又同时截止。电源电压经 VT_1 流入变压器一次绕组 N_p ,并经 VT_3 到电源负极。在这一过程中,变压器一次电流 I_p 逐渐升高。这时,变压器的二次侧得到感应电压,使整流二极管 VD_1 的电压上升, VD_2 的电压下降。这一变化的快慢是由二次绕组 N_s 的漏感及二极管 VD_1 、 VD_2 的性能决定的。如果输出大电流、低电压时,工作频率的影响更大。由于变压器一次电能的增加,二次绕组的感应电流也跟着上升,二极管 VD_2 慢慢进入反向偏置状态,二极管 VD_1 却进入正向导通,电感 L 的电压紧跟着上升。 L 上的电感在反向电动势的作用下,对变压器的一次绕组进行“磁化”,“磁化”的结果是使 VT_1 、 VT_3 截止。 VT_2 、 VT_4 在 V_{in} 电压的作用下趋向导通,又开始了新一轮的“开”、“关”工作循环。桥式变换电路和正激式变换电路的输出电压相同。

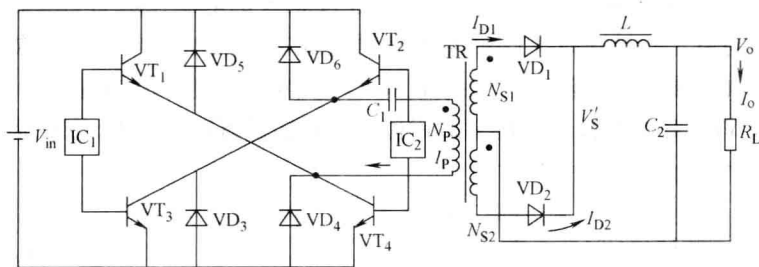


图 1-8 桥式变换电路

1.2.7 推挽式变换电路

在驱动脉冲的作用下, VT_1 、 VT_2 交替导通、截止,如图 1-9 所示。当 VT_1 导通时,电源电压 V_{in} 加到变压器一次绕组 N_{1b} 上, VT_2 的集电极通过变压器耦合作用承受 $2V_{in}$ 的电压。二次绕组 N_{2a} 的上端为正。电流 I_{D1} 经 VD_1 整流和 C 滤波后送到负载 R_L 上。一次电流 I_{C1} 是负载电流折算到一次电流与一次电感磁化电流之和。 VT_1 导通时的一次电流随时间增加而增加,导通时间由驱动脉冲的宽度而定。 VT_1 截止是一次绕组储能和漏感共同作用的结果。 VT_1 的集电极电压上升,通过变压器绕组 N_{1a} 、 N_{1b} 的耦合, VT_2 的集电极电压下降。当 VT_2 的集电极电压下降到

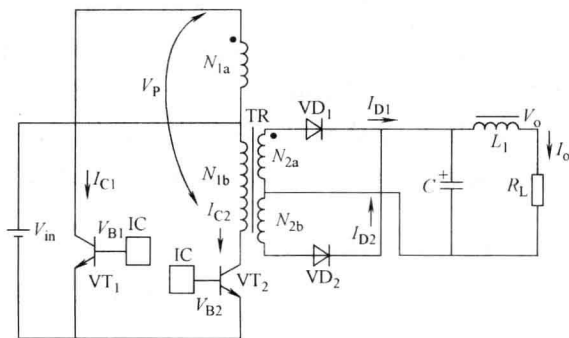


图 1-9 推挽式变换电路

零时, N_{1a} 所储存的电能反馈到电源 V_{in} 中去。在反馈时, 也反激到二次侧, 使 VD_2 导通, 将电能送到负载上。在运行中, 如果 VT_1 、 VT_2 都处于截止状态, 那么这段时间称为死区时间。在此期间, 扼流圈 L_1 有一段保持电流时间, 这时电流流向负载。二次侧的两个绕组和两只整流二极管形成一个完整的回路。推挽式隔离变换电路与其他形式的变换电路基本相同, 但与正激式变换电路不同的是, 它用两只管子进行推挽, 变压器采用中心抽头连接, 二次侧也是两相半波整流。因此, 它相当于两个正激式变换电路工作的形式。这类变换电路比较复杂, 尤其是变压器的一次和二次侧都需要两个绕组, 但是它的利用率较高, 效率高, 输出纹波电压小, 适合用于百瓦级至千瓦级的开关电源中。

推挽式变换电路由于使用两只晶体管, 有时也会出现偏磁现象, 出现这一现象是由两只开关晶体管的储存时间和开关时间的差异所致。加在变压器上的正、负电压的持续时间不同, 经过几个周期的积累, 就会出现单绕组励磁饱和现象和所谓的偏磁现象。在选用晶体管时, 尽量使两只管子的技术参数保持一致。其次, 在设计时, 它的工作频率应 $\leq 100\text{kHz}$ 。

1.2.8 升压式变换电路

升压式 (Boost) 变换电路, 是开关电源拓扑的一种, 也是 LED 驱动电源使用的一种, 用途比较广泛。

1. 升压式变换电路的基本原理

升压式变换输出电压 V_o 必须大于输入电压 V_i 。基本原理如图 1-10 所示。 V_i 为输入直流电压, V_o 为输出直流电压, L 为储能电感, S 代表电子开关变换器, C 为整流输出滤波电容。当电路通电初始时, 电子开关 S 闭合, V_i 便通过电感 L , L 中有电流通过, 电压极性左正右负, 这时整流二极管截止, 电感 L 此时储能, 电容 C 通过负载 R_F 放电; 当电子开关 S 断开时, 储能电感即将改变极性, 变为左负右正, 这时二极管 VD 导通, L 上的电能经 VD 向负载 R_F 供电, 同时对电容 C 充电, 电子开关 S 在高频的作用下, 输出电压 V_o 保持稳定。由图 1-10 可知输出电压 V_o 等于输入电压 + 电感电压 - 二极管的正向导通电压。

$$V_o = V_i + V_L - V_D \approx V_i + V_L > V_i$$

上式称为升压式变换式。

输出电压表达式

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_i$$

由上式可知, 只有 D 大于 0.5 时, V_o 才能大于 V_i 。

2. 升压式 NJM2360 驱动 LED 的应用

NJM2360 是一种恒流驱动升压式开关电源, 输入电压为 3~5V, 输出电压为 12.6V, 该电路对输出电压可进行恒流编程, 对 LED 调节亮度, 输入电源采用一节锂离子电池, 电路直接驱动 3~7 只白光 LED 灯。电路的开关频率为 1.5MHz, 转换效率达 86%。NJM2360 可用于手机、笔记本电脑、GPS 接收机、MP3 播放器等。

由图 1-11 所示, NJM2360 构成升压式 LED 恒流驱动电源, 输入电压为 3~5V, $LED_1 \sim LED_3$ 是 3 只白光 LED 灯, 可选用超高亮度的 Ly551C3N 白光 LED, 它的正向导通电压为 2.4V, 正常工作电流为 20mA, 发光强度为 3200cd。输出整流二极管 VD 系用 BK14 型 0.5A/25V 肖特基二极管, R_3 为电流取样电阻, 它将决定 LED 的正向工作电流 I_F , 达到发

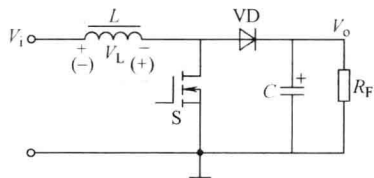


图 1-10 升压式变换电路的基本原理图