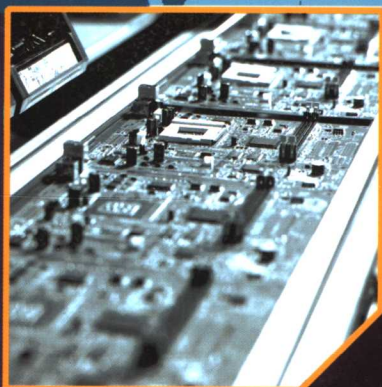
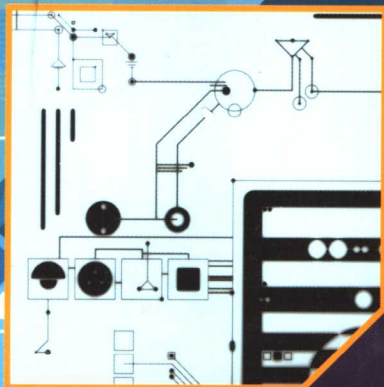


现代仪器电源

——原理·技术·设计

张建生 主编



科学出版社
www.sciencep.com

现代仪器电源

——原理·技术·设计

张建生 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书紧密结合具体产品,系统全面地介绍新型仪器电源技术的基本原理和实用技术,具有较强的实用性和针对性。全书内容包括:开关电源原理,开关电源性能分析,开关电源中功率器件性能分析,开关电源产品设计与工艺,通信用智能开关电源的监控系统及高频开关电源系统,通信机房电源的配置,通信用新型电源电池,新型智能开关电源设计仿真等。此外,附录中还列出了和开关电源相关的高频功率变压器的设计,以及部分电源MOSFET 器件参数表,以供读者参考。

本书可作为电气工程及自动化专业、电子信息专业、通信工程专业的教材或辅导用书,也可供其他相关专业及对现代仪器电源感兴趣的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

现代仪器电源——原理·技术·设计/张建生主编. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015095-3

I. 现… II. 张… III. 开关电源 IV. TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第016142号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲/责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平/封面设计:朱 丰

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年7月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年7月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—4 000 字数: 315 000

定 价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《现代仪器电源》编委会

成员名单

主 编 张建生

副主编 过 军 蒋渭忠 史建平

编 委 刘贤兴 关 静

前 言

当前,先进的仪器设备都离不开高档次电源,而这些仪器电源通常以开关电源居多。开关电源技术在 20 世纪 80 年代引入我国,如今已广泛应用于通信、工业、军事、航空航天、家电等领域,人们对它的研究、开发技术水平也越来越高。开关电源技术属于电力电子技术,它运用功率变换器进行电能变换,经过变换的电能可以满足各种用电要求,由于其高效、节能可带来巨大的经济效益,因此已引起社会各方面的重视,从而得到了迅速推广。

目前,国内开关电源自主研发及生产厂家大约有 300 家,形成规模的约有 10 家。国产开关电源已占据了相当大的市场,一些大公司自主开发的电源系列产品已获得广泛认可,在开关电源市场竞争中颇具优势,有一些产品已经开始出口。

在仪器电源中,通信用新型智能开关电源系统是对通信主机直接供电的系统,从广义上讲,它包括交流不间断供电和直流不间断供电两大部分。随着通信事业的发展,通信网络日益庞大,其在整个国民经济中的地位也变得越来越重要。作为整个通信系统的原动力——通信开关电源,其地位也日益提高。随着现代通信设备的迅速发展,特别是微电子技术的发展,任何通信设备都离不开电源,开关电源设备的质量直接影响通信的质量。通信设备对开关电源的要求越来越高,不断出现各种新型电源,如相控型稳压电源、集成化线性稳压电源、新型智能开关电源、不停电电源、太阳能电源和程控电源等已开始应用于通信设备中。广大通信科技工作者迫切需要了解这些新型智能开关电源的原理、结构和使用。本书根据这些要求,介绍现代新型智能开关电源设备的理论和实用知识。

本书共分 10 章和 2 个附录,着重从工程实用的角度来阐述通信开关电源系统。第 1 章阐述开关电源的原理及功率变换电路、分类、构成、控制与驱动电路;第 2 章介绍主要性能要求、技术规范和组成;第 3 章阐述通信用智能开关电源控制器的类型、结构、性能、参数和实用电路;第 4 章着重介绍开关电源的主控元器件、模块和应用实例;第 5 章介绍开关电源可靠性及产品生产中的工艺;第 6 章介绍电源系统的监控原理、监控系统的硬件、软件构成和智能开关电源远程监控的实现;第 7 章从工程实用的

角度阐述通信用智能高频开关电源的系统结构、工作原理、技术参数和实用电路;第8章介绍通信机房电源配置、接地、防雷及各种保护措施;第9章着重介绍现代仪器电源中非开关电源的应用,并介绍通信用新型电源电池的类型、结构和工作原理;第10章简要介绍通信智能高频开关电源的计算机仿真和最优化设计方法;附录1从开关电源的角度介绍高频功率变压器的设计;附录2则列出了部分电源 MOSFET 器件参数表,以供读者参考。

本书第1、2及第8章由常州工学院过军同志编写,第3章由常州工学院关静同志编写,第4、5章由常州工学院张建生同志编写,第6章由江苏大学刘贤兴同志编写,第7章、附录1由常州工学院蒋渭忠同志编写,第9章由江苏大学李捷辉同志编写,第10章、附录2由常州工学院史建平同志编写;本书最后由张建生同志统稿。对在本书编写过程中给予支持和帮助的江苏大学李金伴教授和江苏科技大学李众教授及常州工学院陈伦琼、胡圣尧老师,在此致以衷心的感谢。

由于本书编撰时间仓促,加之开关电源技术本身发展迅猛,书中的内容难免会有一些不足之处,敬请广大读者批评指正。

张建生

目 录

第 1 章 开关电源基础	1
1.1 开关电源的基本构成	1
1.1.1 基本构成	1
1.1.2 基本工作原理	1
1.1.3 开关电源常用电路类型及电路概述	2
1.2 开关电源的功率变换电路	8
1.2.1 推挽式功率转换电路	8
1.2.2 恒流驱动电路	8
1.2.3 比例电流驱动电路	8
1.2.4 谐振变换器存在的问题	9
1.3 开关电源的反馈控制电路	10
1.3.1 功率反馈式	10
1.3.2 电磁耦合的扼流圈转换方式	11
1.3.3 电感控制方式	12
1.3.4 增加串联谐振回路的方式	12
1.3.5 正反馈绕组	14
1.4 开关电源驱动电路	15
1.4.1 恒流驱动电路	15
1.4.2 比例电流驱动电路	15
1.5 开关电源功率因数及校正器	16
1.5.1 基本电路	16
1.5.2 功率因数校正过程	16
1.5.3 改善功率因数的几种方式	17
第 2 章 开关电源的性能指标	21
2.1 电源指标体系介绍	21
2.1.1 概 述	21
2.1.2 开关电源的技术指标体系	22
2.2 开关电源与其他电源的性质比较	25

2.2.1	开关电源与线性电源的比较	25
2.2.2	开关电源与低压式开关电源的比较	26
2.2.3	开关电源与可控硅整流电源的比较	26
2.2.4	开关电源与电池的比较	26
2.2.5	开关电源与直流发电机的比较	26
第 3 章	开关电源常用的集成控制器	27
3.1	SG1524 系列开关电源控制器	27
3.1.1	功能及特点	27
3.1.2	SG1524/3524 的工作原理	28
3.1.3	SG1524/3524 应用举例	29
3.2	TL494 型开关电源集成控制器	31
3.2.1	TL494 的性能	31
3.2.2	TL494 的典型应用实例	33
3.3	UC1842 系列开关电源集成控制器	35
3.3.1	功 能	35
3.3.2	特 点	36
3.3.3	使用方法	37
第 4 章	开关电源主控元器件	39
4.1	二极管	39
4.2	功率晶体管	41
4.2.1	功率晶体管的工作状态	41
4.2.2	额定电流	43
4.2.3	安全工作区	43
4.2.4	功率晶体管的特性	43
4.3	功率 MOS 场效应晶体管	44
4.3.1	VMOSFET 的主要特点	44
4.3.2	功率 MOSFET 的驱动电路	45
4.3.3	功率 MOSFET 在开关电源中的应用	46
4.3.4	MOSFET 器件特性及管脚识别	46
4.4	绝缘栅双极晶体管	48
4.4.1	概 述	48
4.4.2	IGBT 的输出特性和主要参数	49
4.4.3	IGBT 应用技术	50
4.5	光电耦合器	56
4.6	精密可调基准电源 TL431	57

4.6.1	精密基准电压源	58
4.6.2	可调稳压电源	58
4.6.3	恒流源电路	58
4.6.4	比较器	59
4.6.5	电压监视器	59
4.7	开关电源中使用的厚膜电路	59
4.7.1	概 述	59
4.7.2	彩色电视机电源厚膜电路的代换	60
4.8	开关电源中使用的电容器	65
4.8.1	陶瓷电容器	65
4.8.2	薄膜电容器	68
4.8.3	铝电解电容器	69
第 5 章	开关电源产品设计与工艺	72
5.1	概 述	72
5.2	变压器的设计	75
5.3	开关管与整流二极管的参数计算	76
5.4	吸收回路的设计计算	77
5.5	功率晶体管的选择	77
5.5.1	单端反激式变换器电路中开关晶体管的选择	77
5.5.2	推挽式变换器电路中开关晶体管的选择	78
5.6	功率晶体管的保护电路设计	79
5.6.1	双极型晶体管正偏压的二次击穿	79
5.6.2	反馈压的二次击穿	80
5.6.3	开关晶体管的阻容(RC)吸收回路	81
5.7	MOSFET 的选择与保护	82
第 6 章	通信用智能开关电源的监控系统	85
6.1	智能开关电源的监控原理	85
6.1.1	监控系统基本功能	85
6.1.2	系统监控内容	86
6.1.3	监控系统构成	87
6.1.4	监控系统的管理	90
6.2	电源监控系统的通信接口与通信协议	90
6.2.1	串行通信的基本概念	90
6.2.2	通信接口	91
6.2.3	通信协议	95

6.3	DK 系列智能开关电源监控模块	95
6.3.1	性能与特点	95
6.3.2	系统硬件及工作原理	97
6.3.3	软件系统	99
6.4	MSS3000 多媒体集中监控系统	100
6.4.1	系统的主要技术指标	100
6.4.2	系统功能及特点	100
6.4.3	系统监控对象及内容	103
6.4.4	系统组网方式	105
6.4.5	数据采集模块	109
6.5	监控系统实例	111
6.5.1	JM-6A 现场监控器	111
6.5.2	PSMS 动力设备及环境监控系统	112
第 7 章	通信用智能高频开关电源系统	116
7.1	概 述	116
7.1.1	发展概况	116
7.1.2	系统基本组成	117
7.1.3	性能指标	118
7.1.4	电路技术	118
7.2	PS48600 型智能高频开关电源系统	119
7.2.1	系统简介	119
7.2.2	交直流配电系统	120
7.2.3	整流系统	122
7.2.4	监控单元	125
7.3	谐振型通信开关稳压电源系统	125
7.3.1	SWICHTEC 谐振型通信开关稳压电源系统	125
7.3.2	DPC400-II 谐振型通信开关电源系统	132
第 8 章	通信机房电源配置	135
8.1	概 述	135
8.2	机房电源的设置	136
8.2.1	交流电源供电系统结构	136
8.2.2	交流电源容量的确定	137
8.2.3	直流电源的设置	137
8.3	接地、防雷及各种保护措施	137
8.4	电力电池机房的设计	138

第 9 章 通信用新型电源电池	142
9.1 通信用蓄电池的发展动态和分类	142
9.1.1 蓄电池的国内外动态	142
9.1.2 蓄电池在通信电源系统中的作用	144
9.1.3 通信用蓄电池的分类	146
9.2 铅酸蓄电池的基本工作原理和应用	149
9.2.1 铅酸蓄电池基本工作原理	150
9.2.2 阀控式免维护铅酸蓄电池的结构与特性	153
9.2.3 铅酸蓄电池的运行方式与充电方法	158
9.3 镍镉蓄电池	164
9.3.1 镍镉蓄电池的基本工作原理	165
9.3.2 密封镍镉蓄电池工作原理和特性	166
9.4 镍金属氢化物电池	169
9.4.1 Ni-MH(镍氢)电池的基本工作原理	170
9.4.2 密封 Ni-MH 电池的结构	171
9.4.3 Ni-MH 电池的主要特性	172
9.4.4 Ni-MH、Ni-Cd 电池快速充电方法	173
9.5 锂离子电池	176
9.5.1 锂离子电池的工作原理和结构	176
9.5.2 锂离子电池充放电特性	178
9.5.3 锂离子电池中的安全措施	179
9.6 太阳能电池	181
9.6.1 太阳能电池概述	181
9.6.2 硅太阳能电池的结构和工作原理	183
9.6.3 硅太阳能电池的等效电路和伏-安特性	184
9.6.4 太阳能电池的种类	186
9.6.5 太阳能电池的组装方式	187
9.6.6 太阳能电池供电系统	189
9.6.7 太阳能通信电源的供电电路和控制电路	200
第 10 章 新型智能开关电源设计仿真	204
10.1 开关电源计算机仿真技术	204
10.1.1 新型智能开关电源仿真方法	205
10.1.2 新型智能开关电源电路的建模和仿真分析方法	205
10.1.3 用于新型智能开关电源的 SPICE 和 IsSPICE 仿真软件	207

10.2	MATLAB 语言在新型智能开关电源仿真中的应用	208
10.2.1	MATLAB 语言简介	208
10.2.2	MATLAB 语言的使用方法	209
10.2.3	电力电子器件的 MATLAB/Simulink 仿真模型	212
10.2.4	MATLAB 在开关电源仿真中的应用	217
10.3	IsSPICE 及其在开关电源仿真中的应用	220
10.3.1	IsSPICE 仿真软件的组成及功能特点	220
10.3.2	开关电源的基本变换器仿真示例	222
10.4	新型智能开关电源的最优化设计方法	225
10.4.1	开关电源的可行设计	225
10.4.2	开关电源的最优化设计	225
10.4.3	开关电源的主要设计指标	226
10.5	工程最优化的基本内容	227
10.5.1	优化设计模型的三个内容	227
10.5.2	设计变量	227
10.5.3	函数	228
10.5.4	约束	228
10.5.5	优化数学模型的一般表达形式	230
10.5.6	开关电源工程优化设计的特点	230
10.6	开关电源应用最优化方法的几个问题	231
10.6.1	最优解的性质	231
10.6.2	初始点的选择	231
10.6.3	收敛判据	232
10.6.4	变量尺度的统一	232
10.6.5	约束值的尺度统一	233
10.6.6	多目标优化问题	233
附录1	高频功率变压器的设计	234
1.1	高频功率变压器的特性	234
1.2	高频功率变压器的参数计算	237
1.2.1	变压器的基本参数	237
1.2.2	设计变压器的基本公式	238
1.3	对高频功率变压器的要求	238
1.3.1	小漏感要求	238
1.3.2	避免瞬态饱和	238
1.3.3	要考虑温度影响	239

1.3.4 合理进行结构设计	239
1.4 磁芯材料的选择	239
1.5 设计举例	244
附录2 部分电源 MOSFET 器件参数表	245

第 1 章 开关电源基础

1.1 开关电源的基本构成

开关电源不同于模拟电源,开关电源的大功率管工作于开关状态,因此,开关电源的损耗比模拟电源小得多。我们可以先从开关电源的结构、原理来逐步了解开关电源。

1.1.1 基本构成

开关电源是采用开关元件的周期性通断开关工作,控制开关元件的占空比(通断时间之比)来调整输出电压。这种开关元件是由功率半导体器件来承担的。开关电源的基本构成如图 1.1 所示,DC/DC 变换器用来进行功率变换,它是开关电源的核心部分,此外,还包含过流与过压保护电路、噪声滤波器等组成部分。反馈回路的作用是检测其输出电压,并与基准电压比较,其误差电压通过误差放大器进行放大,控制 PWM 脉宽调整电路,再经过驱动器电路控制半导体开关的通断时间比(占空比),从而改变输出电压或电流的大小。

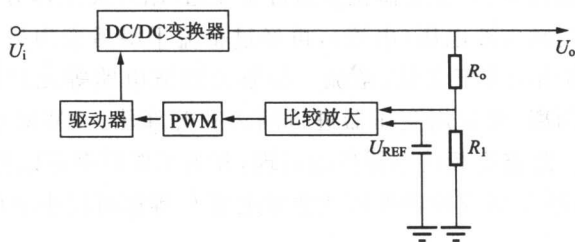


图 1.1 开关电源的基本构成

1.1.2 基本工作原理

开关电源种类较多,虽然其原理有所不同,但基本工作原理是相似的。举例如下,图 1.2 所示为一种开关电源的原理,开关 S 周期性地通断。在开关 S 接通时,输入电源 U_i 供给负载 R_L 功率;开关 S 断开时,输入电源停止向负载供电。因此,

输入电源间断向负载供电,为使负载能够连续得到能量,开关电源中必须接有储能元件,图 1.2 中电感 L 就是储能元件。在开关 S 接通时,电感 L 中存储一部分能量,而在开关 S 断开时,电感 L 中的存储能量通过二极管 VD 形成的放电回路,释放给负载及通过电容储能,则负载就得到连续的能量供给。

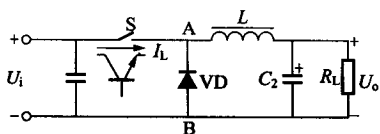


图 1.2 开关电源原理

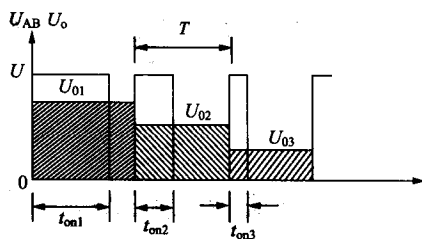


图 1.3 电压波形

在滤波电路输入端 AB 间,理想的波形如图 1.3 所示,其平均电压的值为

$$U_{AB} = \frac{t_{on}}{T} U_i \quad (1.1)$$

由式(1.1)可知,给定不同开关接通时间和工作周期的比例, U_{AB} 就随之改变,因此随着负载及输入电压的变化自动调整 t_{on} 和 T 的比例,就能使输出电压 U 保持不变。由此可见,开关电源是靠开关的通断来控制负载上的电压大小,通过滤波电路来获得较理想的电压、电流波形的。

1.1.3 开关电源常用电路类型及电路概述

1. PWM 电路及其工作原理

脉冲宽度调制(PWM)变换器就是通过重复通/断开关工作方式把一种直流电压(电流)变换为高频方波电压(电流),再经过整流平滑后变为另一种直流电压输出。PWM 变换器由功率开关管、整流二极管及滤波电路等元件组成。输入输出间还要进行电气隔离,可采用变压器进行隔离和升降压。PWM 变换器的工作原理如图 1.4 所示。随着高频功率器件的出现,开关工作频率可以得到相应的提高,滤波电感 L 、变压器 T 等磁性器件以及滤波电容 C 等都可以小型化。

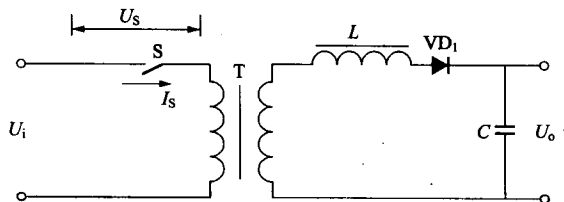


图 1.4 PWM 变换器的基本工作原理

在图 1.4 的 PWM 变换器中,加在开关管 S 两端的电压和通过 S 的电流 I_S 的波形近似为方波,如图 1.5 所示。图中, T_S 为开关工作周期; t_{on} 为开关 1 个周期内闭合时间; t_{off} 为开关 1 个周期内断开时间。

对于这种变换器,改变占空比有两种工作方式:一是保持开关工作周期 T_S 不变,控制开关导通时间 t_{on} 的脉冲宽度调制(PWM)方式;二是保持导通时间 t_{on} 不变,改变开关工作周期 T_S 的脉冲频率调制(PFM)方式。

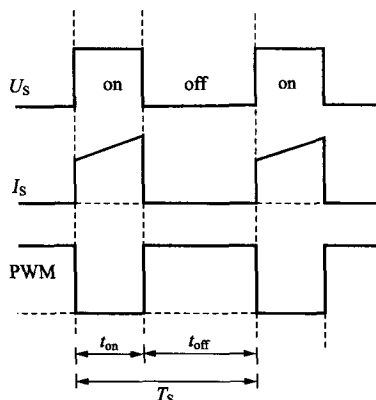


图 1.5 变换器开关工作的波形

2. 隔离型变换器

变压器通常分为降压式、升压式、升降压式、自耦式变换器,而常用的自耦式变换器为非隔离型变换器。

在很多场合,DC/DC 变换器用于开关电源时,要求输入与输出间进行电气隔离。这时必须采用变压器进行隔离,一般称为隔离型变换器。这类变换器是把直流电压或电流变换为高频方波电压或电流,经变压器升压或降压后,再经整流平滑滤波变为直流电压或电流的方式。因此,这类变换器又称为逆变整流型变换器。

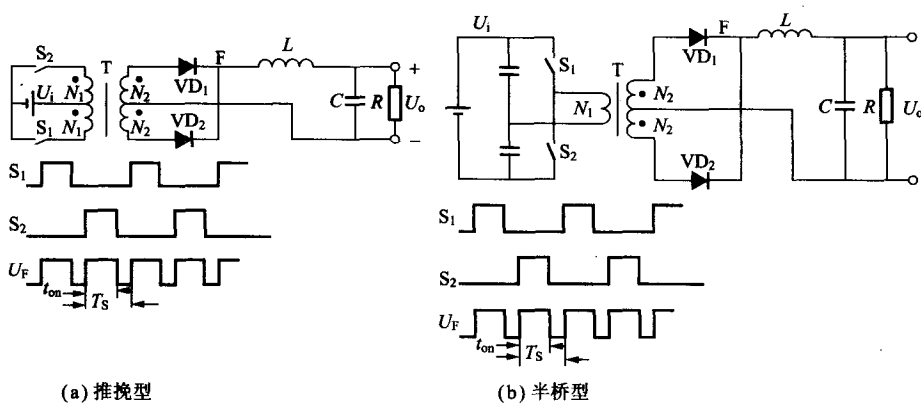


图 1.6 推挽型与半桥型变换电路

(1) 推挽型变换器与半桥型变换器

推挽型变换器与半桥型变换器是典型的逆变整流型变换器,电路结构和工作波形如图 1.6 所示。加在变压器上的电压是幅度为输入电压 U_i 、宽度为开关导通时间 t_{on} 的脉冲波形,变压器二次电压经二极管 VD_1 、 VD_2 全波整流成直流。图 1.6 (a) 表示推挽型变换器的电路结构和工作波形,图 1.6 (b) 表示半桥型变换器的电

路结构和工作波形,如只从输出级滤波器来看,工作原理和降压型变换器完全相同,二次滤波电感用于存储能量。如以图中所示的占空比表示方法,电压变换比 n 与降压型变换器相类似,即 n 为变压器匝数比, $n = N_1/N_2$, N_1 为一次绕组的匝数; N_2 为二次绕组匝数。

(2) 正激型变换器

正激型变换器电路如图 1.7 所示,它是采用变压器的降压型变换器电路。与推挽型变换器一样,加在变压器一次侧(一半)上的电压的振幅为输入电压 U_i ,宽度为开关导通时间 t_{on} 的脉冲波形,变压器二次电压经二极管整流变为直流。电压变比为

$$m = \frac{D}{n} \quad (1.2)$$

式中, D 为占空比,即 $D = \frac{t_{on}}{T_s}$

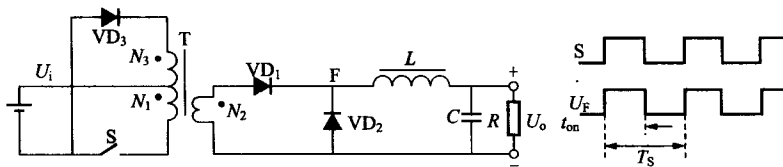


图 1.7 正激型变换电路

对于这种变换器,开关导通时变压器存储能量,一次绕组中的励磁电流达到

$$I_{M1} = \frac{U_i D T_s}{L_{M1}} \quad (1.3)$$

式中, L_{M1} 为绕组 N_1 的励磁电感。

开关断开时,变压器释放能量,二极管 VD_3 和绕组 N_3 就是为此而设,能量通过它们反馈到输入侧。开关一断开,绕组 N_1 中存储的能量转移到绕组 N_3 中,绕组 N_3 的励磁电流为

$$I_{M3} = \frac{N_1}{N_3} I_{M1} = \frac{N_1}{N_3} \times \frac{U_i D T_s}{L_{M1}} \quad (1.4)$$

式中, N_1 、 N_2 、 N_3 为绕组的匝数。

反馈二极管 VD_3 为导通状态时,变压器进行去磁。绕组 N_3 励磁电感 L_{M3} 与绕组 N_1 电感 L_{M1} 的关系为

$$L_{M3} = \left(\frac{N_3}{N_1} \right)^2 L_{M1} \quad (1.5)$$

L_{M3} 释放能量所需要的时间可由下式求出:

$$t_{re} = \frac{I_{M3} L_{M3}}{U_i} = \frac{N_3}{N_1} D T_s \quad (1.6)$$