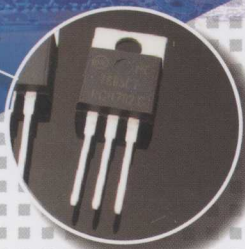
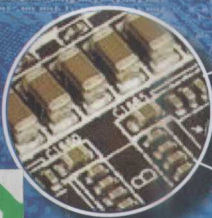


开关电源设计与应用系列书

开关电源外围元器件 选择与检测

沙占友 庞志锋 等著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容简介

开关电源设计与应用系列书

开关电源外围元器件 选择与检测

沙占友 庞志锋 等著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 简 介

目前开关电源正向集成化、智能化、模块化的方向发展。正确选择与检测外围元器件,是设计、制作集成开关电源的基础和保证。本书从实用角度出发,全面、系统、深入地阐述了开关电源各种外围元器件的工作原理、在开关电源中的典型应用、选择方法、检测技巧及测量注意事项。其中,既有基础类元件,也有大量的新型电子元器件。此外,还详细介绍了常用检测仪器仪表的选择及使用注意事项。

本书内容丰富,深入浅出,通俗易懂。具有科学性、先进性与很高的实用价值,可供电子和电气工程技术人员,仪器仪表及家电维修人员,大专院校师生及电子爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源外围元器件选择与检测/沙占友等著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8682-9

I. 开… II. 沙… III. ①开关电源—电子元件②开关电源—电子器件 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 051269 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.375 印张 325 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

电子元器件是信息产业的基础。各种电子产品都是由最基本的电子元器件构成的,开关电源也不例外。例如,我国2008年发射成功的神舟七号飞船,就使用了各种电子元器件十多万只。近年来,随着我国电子技术的进步,电子元器件产业也获得飞速发展。据工业和信息化部统计,2008年1~11月我国电子元器件产量达7598.6亿只,同比增长16.9%,远高于国内生产总值(GDP)的增长速度。

集成开关电源是以脉宽调制器、开关稳压器、单片开关电源等集成电路为核心的高效节能型电源。其外围元器件种类繁多、性能各异,涉及电子、电力、电工、热力学等多个领域。外围元器件的质量好坏,直接影响到开关电源的性能指标。因此,正确选择和检测元器件是设计、制作开关电源的基础工作和可靠保证。

鉴于国内介绍集成开关电源外围元器件的书籍还很少,并且尚未出版过专门介绍其检测方法的科技书,而广大读者迫切需要全面、系统地掌握这方面的知识。为此,作者将本人近年来在教学与科研工作中积累的经验加以系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰写成此书,以满足广大读者的需要。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体,主要有以下特点:

第一,重点突出。以集成开关电源关键外围元器件为核心,全面、深入地阐述其工作原理、典型应用、选择方法、检测技巧及使用注意事项。

第二,内容丰富,几乎涵盖了集成开关电源所使用的各种类型外围元器件。其中,既有基础类元件,也有大量的新型电子元器件。此外,还详细介绍了常用检测仪器仪表的选择及使用注意事项。

第三，具有很高的实用价值。本书在介绍各种集成开关电源外围元器件的同时，还分别给出了它们在开关电源中的典型应用电路，便于读者触类旁通，举一反三，灵活应用。

第四，内容由浅入深，循序渐进。各章之间保持相对的独立性，读者既可通读全书，亦可选读部分章节的内容。

沙占友教授撰写了第一章、第四章和第五章，并完成了全书的审阅和统稿工作。庞志锋教授撰写了第二章和第三章。

在本书撰写工作中得到李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉等同志的帮助，在此一并致谢。

由于作者水平所限，书中的缺点和不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

作者

目 录

开关电源外围元器件选择与检测

前 言

■ 第一章 开关电源及外围元器件概述	1
第一节 开关电源的基本原理	1
一、集成稳压电源的分类	1
二、开关电源的基本原理	2
三、开关电源的控制类型	6
第二节 开关电源集成电路的选择	9
第三节 常用电子元器件的分类	11
第四节 集成开关电源中通用元器件的类型及 主要功能	14
第五节 集成开关电源中特种元器件的类型及 主要功能	17
第六节 集成开关电源保护电路的分类及功能	19
第七节 开关电源常用测试仪器仪表	21
一、电子测量仪器的分类及型号命名法	21
二、开关电源常用测试仪器仪表	23
■ 第二章 电阻器、电容器和电感器的选择与检测	25
第一节 固定电阻器的选择	25
第二节 电阻器的检测	31
一、用指针万用表检测电阻的方法	31
二、用数字万用表检测电阻的方法	34
第三节 电流检测电阻的选择	38
一、利用漆包线制作电流检测电阻	38
二、利用 PCB 上的铜导线制作电流检测电阻	39

第四节	机械式电位器的选择与检测	43
一、	电位器的内部结构及产品分类	43
二、	电位器的检测方法	45
第五节	数字电位器的选择	46
一、	数字电位器的基本原理及典型应用	46
二、	数字电位器的产品分类	52
三、	数字电位器的选择	56
第六节	电容器的选择	58
一、	电容器的分类及容量、误差表示法	58
二、	电容器的基本用法	63
第七节	电容器的测量	64
一、	利用指针万用表测量电容	64
二、	利用数字万用表测量电容	68
第八节	电感器的选择	71
一、	储能电感的选择	71
二、	磁珠的选择	72
第九节	电感器的测量	77
一、	利用指针万用表测量电感	77
二、	利用数字万用表测量电感	79
第十节	高频变压器磁心的选择与检测	81
一、	高频变压器磁心的选择	81
二、	高频变压器磁心的检测	86
第十一节	高频变压器的设计要点	87
第十二节	高频变压器的检测	94
一、	高频变压器的电气性能测试	94
二、	利用示波器检测高频变压器的磁饱和和特性	95
■ 第三章	整流及功率器件的选择与检测	99
第一节	硅整流管的选择	99
一、	硅整流管的产品分类	99
二、	硅整流管在开关电源中的典型应用	100

第二节	硅整流管的检测	101
一、	利用指针万用表检测硅整流管	101
二、	利用数字万用表检测硅整流管	102
第三节	硅整流桥的选择与检测	104
一、	硅整流桥的选择	104
二、	硅整流桥的检测	105
第四节	输入整流滤波器的选择与设计	107
一、	输入整流滤波器的选择与设计曲线	107
二、	输入整流滤波器的设计步骤	110
三、	输入整流滤波器的设计实例	112
第五节	硅高速开关二极管的选择与检测	114
一、	硅高速开关二极管的选择	114
二、	硅高速开关二极管的检测	115
第六节	快恢复、超快恢复二极管的选择与检测	115
一、	快恢复及超快恢复二极管的选择	115
二、	快恢复及超快恢复二极管的检测	118
第七节	肖特基二极管的选择与检测	120
一、	肖特基二极管的选择	120
二、	肖特基二极管的检测	123
第八节	双极型小功率晶体管的选择与检测	124
一、	双极型小功率晶体管的选择	125
二、	利用指针万用表检测双极型晶体管	127
三、	利用数字万用表检测双极型晶体管	130
四、	在线测量双极型晶体管	135
第九节	双极型功率开关管的选择与检测	136
一、	双极型功率开关管的选择	136
二、	双极型功率开关管的检测	138
第十节	功率 MOSFET 的选择与检测	139
一、	功率 MOSFET 的选择	139
二、	功率 MOSFET 的检测	141

101	第十一节 IGBT 功率开关管的选择	142
101	一、IGBT 功率开关管的选择	142
101	二、IGBT 功率开关管的检测	147
101	第十二节 智能功率器件的选择	147
101	一、智能功率器件的特点及产品分类	147
201	二、智能功率集成电路的典型应用	149
101	三、智能功率模块的原理与应用	152
■	第四章 开关电源保护器件的选择与检测	155
101	第一节 熔丝管的选择与检测	155
101	一、熔丝管的工作原理及产品分类	155
101	二、熔丝管的使用与检测	158
101	第二节 熔断电阻器的选择与检测	159
101	一、熔断电阻器的选择	159
101	二、熔断电阻器的检测	160
101	第三节 自恢复熔丝管的选择与检测	161
101	一、自恢复熔丝管的选择	161
101	二、自恢复熔丝管的检测	165
101	第四节 软启动功率元件及启动电路的选择与检测	166
101	一、负温度系数热敏电阻器的特性与检测	166
101	二、软启动功率元件的选择与检测	169
101	三、开关电源启动电路的设计	171
101	第五节 压敏电阻器的选择与检测	174
101	一、压敏电阻器的选择	174
101	二、压敏电阻器的检测	178
101	第六节 瞬态电压抑制器的选择与检测	178
101	一、瞬态电压抑制器的选择	179
101	二、瞬态电压抑制器的检测	181
101	第七节 集成过电压及过电流保护器件	182
101	一、NCP345 型过电压保护器	182

648	二、MAX4843 系列过电压保护器	185
648	三、LTC4213 型过电流保护器	188
622	第八节 电磁干扰滤波器的选择与检测	190
622	一、电磁干扰滤波器的选择	190
621	二、电磁干扰滤波器的检测	194
630	三、有源电磁干扰滤波器的选择	195
638	第九节 人体静电放电保护器件	200
638	一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法	200
638	二、ESD 保护二极管的原理与应用	202
638	三、多路 ESD 保护器件的原理与应用	203
638	第十节 温度熔丝管及温度保护器的选择	206
638	一、温度熔丝管及温度保护器的选择	206
638	二、温度熔丝管及温度保护器的检测	208
638	第十一节 散热器的选择及使用要点	208
638	一、散热器的选择	209
638	二、散热器使用要点	218
638	■ 第五章 特种元器件的选择与检测	222
638	第一节 稳压管的选择与检测	222
638	一、稳压管的选择	222
638	二、稳压管的检测	226
638	第二节 稳流管的选择与检测	229
638	一、稳流管的选择	229
638	二、稳流管的检测	232
638	第三节 可调式精密并联稳压器的选择与检测	233
638	一、可调式精密并联稳压器	234
638	二、低压输出可调式精密并联稳压器	236
638	三、输出可从 0V 起调的精密低压差线性稳压器	239
638	第四节 光耦合器的选择与检测	243
638	一、光耦合器的选择	243
638	二、光耦合器的检测	245

281	第五节 单向晶闸管的选择与检测	249
281	一、单向晶闸管的选择	249
281	二、单向晶闸管的检测	257
281	第六节 双向触发二极管的选择与检测	259
281	一、双向触发二极管的选择	259
281	二、双向触发二极管的检测	260
281	第七节 双向晶闸管的选择与检测	261
281	一、双向晶闸管的选择	262
281	二、双向晶闸管的检测	263
281	第八节 电磁继电器的选择与检测	266
281	一、电磁继电器的选择	266
281	二、电磁继电器的检测	268
281	第九节 固态继电器的选择与检测	269
281	一、固态继电器的选择	269
281	二、固态继电器的检测	274
281	第十节 三重绝缘线的选择	276
281	一、三重绝缘线的结构特点	276
281	二、三重绝缘线的使用注意事项	279
281	第十一节 电压条图指示计的选择	280
281	一、LED 条图显示驱动器的选择	280
281	二、电压条图指示计的应用电路	282
281	第十二节 电源监视器的选择	286
281	一、由 TL431 构成的电压监视器	286
281	二、由 LM3914 构成的欠电压和过电压监视器	287
281	三、由 HYM705/706 构成的电源监视器	287
281	四、由 MCP1316 系列产品构成的电压监视器	292
281	第十三节 电子管的选择与检测	295
281	一、电子管的选择	295
281	二、电子管的检测	297
281	三、电子管的修复方法	300

■ 第六章 常用检测仪器仪表的选择及使用注意事项	304
第一节 指针万用表的选择	304
第二节 指针万用表的使用注意事项	307
第三节 数字万用表的选择	315
第四节 数字万用表的使用注意事项	320
第五节 兆欧表的选择及使用注意事项	328
一、兆欧表的工作原理	329
二、兆欧表的选择	330
三、兆欧表的使用注意事项	332
第六节 通用示波器的选择及使用注意事项	334
一、通用示波器显示波形的原理	334
二、通用示波器的选择	339
三、通用示波器的使用注意事项	341
■ 参考文献	348

开关电源及外围元器件概述

本章首先介绍开关电源的基本原理及开关电源集成电路的选择方法,然后重点阐述集成开关电源外围电路中通用元器件、特种元器件的类型及主要功能,最后介绍开关电源常用测试仪器仪表。

第一节 开关电源的基本原理

一、集成稳压电源的分类

集成稳压电源大致可分成线性稳压电源 (Linear Power Supply, LPS) 和开关电源 (Switch Mode Power Supply, SMPS) 两大类。集成稳压电源的分类及特点见表 1-1-1。

表 1-1-1 集成稳压电源的分类及特点

集成稳压电源	线性电源 (LPS)	NPN 型标准 线性稳压器	固定式	三端固定式	正压输出, 负压输出
				多端固定式	正压输出, 负压输出
			可调式	三端可调式	正压输出, 负压输出, 跟踪式
				多端可调式	正压输出, 负压输出, 跟踪式
		低压差线性 稳压器	PNP 型低压 差线性稳压器 (LDO)	三端或 多端固 定式	正压输出, 负压输出, 跟踪式
			准低压差线 性稳压器 (QL- DO)		
			超低压差线 性稳压器 (简 称 VLDO)	三端或 多端固 定式/可调式	

续表

集成稳压电源	开关电源 (SMPS)	脉宽调制器 (PWM)	集成度较低, 外围电路复杂, 但可构成大功率开关电源
		脉频调制器 (PFM)	集成度较低, 外围电路复杂, 开关频率可达 1MHz 以上, 高效率
		开关稳压器 (Switching Regulator)	集成度较高, 内含功率开关管, 构成开关电源时需配工频变压器
		单片开关电源	集成度很高, 外围电路简单, 适合构成中、小功率开关电源
		数字电源	以数字信号处理器 (DSP) 或微控制器 (MCU) 为核心, 将数字电源驱动器、PWM 控制器等作为控制对象, 能实现电源控制、管理和监测功能

线性稳压器因其内部调整管与负载相串联且调整管工作在线性工作区而得名, 又称作串联调整式集成稳压器。其优点是稳压性能好, 输出纹波电压小, 电路简单, 成本低廉。主要缺点是调整管的压降较大, 功耗高, 稳压电源的效率较低, 一般为 45% 左右。线性集成稳压器主要包括两种: 一种是采用 NPN 调整管的标准线性稳压器 (Standard Linear Regulator), 亦称 NPN 型线性稳压器; 另一种是采用 PNP 调整管的 PNP 型低压差线性稳压器 (LDO)。此外还有准超低压差线性稳压器 (QLDO) 和超低压差线性稳压器 (VLDO)。按照输出电压方式来划分, 又有固定输出、可调输出、正压输出、负压输出、多路输出 (含跟踪式输出) 等多种形式。传统的标准线性稳压器的效率仅为 45% 左右, 而 LDO、VLDO 在低压输入时的效率可达 80%~95%。

开关电源 (Switching Mode Power Supply, 英文缩写为 SMPS) 被誉为高效节能电源, 它代表着稳压电源的发展方向, 现已成为稳压电源的主流产品。开关电源内部的关键元器件工作在高频开关状态, 本身消耗的能量很低, 电源效率可达 70%~90%, 比标准线性稳压电源提高近一倍。开关电源集成电路主要有以下 4 种类型: 脉宽调制器、脉频调制器、开关稳压器、单片开关电源。

二、开关电源的基本原理

1. 开关电源的工作方式

开关电源按控制原理来分类, 有以下 4 种工作方式:

(1) 脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, 简称 PWM, 即脉宽调制) 式: 开关频率为恒定值, 通过调节脉冲宽度来改变占空比, 实现稳压目的。其核心是脉宽调制器。

(2) 脉冲频率调制 (Pulse Frequency Modulation, 简称 PFM, 即脉频调制) 式: 脉冲宽度为恒定值, 通过调节开关频率来改变占空比, 实现稳压目的。其核心是脉频调制器。

(3) 脉冲密度调制 (Pulse Density Modulation, 简称 PDM, 即脉密调制) 式: 脉冲宽度为恒定值, 通过调节脉冲数实现稳压目的。它采用零电压技术, 能显著降低功率开关管的损耗。

(4) 混合调制式: 它是 (1)、(2) 两种方式的组合。开关周期和脉冲宽度都不固定, 均可调节。它包含了脉宽调制器和脉频调制器。

以上 4 种工作方式统称为“时间比率控制”(Time Ratio Control, 简称 TRC) 方式, 其中以脉宽调制器的应用最为广泛。

需要指出的是, 脉宽调制器既可作为一片独立的集成电路使用 (例如 UC3842 型脉宽调制器), 亦可被集成在开关稳压器中 (例如 L4960A 型开关稳压器集成电路), 或集成在开关电源中 (例如 TOP250 型单片开关电源集成电路)。其中, 开关稳压器属于 DC/DC 电源变换器, 开关电源对应于 AC/DC 电源变换器, 但习惯上有时也将开关稳压器统称为开关电源。

2. 脉宽调制器的基本原理

脉宽调制式开关电源的工作原理如图 1-1-1 所示。220V 交流电 u 首先经过整流滤波电路变成直流电压 U_1 , 再由功率开关管 VT 斩波、高频变压器 T 降压, 得到高频矩形波电压, 最后经过整流滤波后获得所需要的直流输出电压 U_0 。脉冲调制器能产生频率固定而脉冲宽度可调的驱动信号, 控制功率开关管的通、断状态, 进而调节输出电压的高低, 达到稳压目的。锯齿波发生器用于提供时钟信号。利用误差放大器和 PWM 比较器形成闭环调节系统。输出电压 U_0 经 R_1 、 R_2 取样后获得取样电压 U_Q , 送至误差放大器的反相输入端, 与加在同相输入端的基准电压 U_{REF} 进行比较, 得到误差电压 U_r , 再用 U_r 的幅度去控制 PWM 比较器输出的脉冲宽度, 最后经过功率开关管 (VT) 和降压式输出电路 (VD 和 C_2) 使 U_0 保持

不变。 U_I 为锯齿波发生器的输出信号。

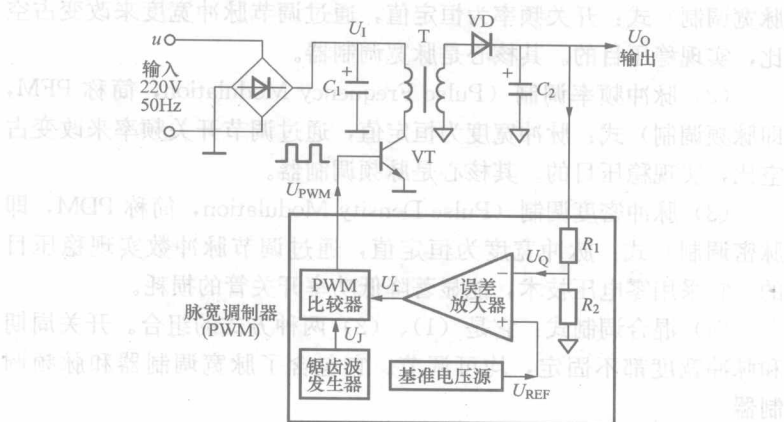


图 1-1-1 脉宽调制式开关电源的工作原理

需要指出, 取样电压通常是接误差放大器的反相输入端, 但也有接同相输入端, 这与误差放大器另一端所输入的锯齿波电压极性有关。一般情况下当输入的锯齿波电压为正极性时, 取样电压接反相输入端; 输入锯齿波电压为负极性时, 取样电压接同相输入端 (下同)。

令直流输入电压为 U_I , 开关稳压器的效率为 η , 占空比为 D , 则功率开关管的脉冲幅度 $U_P = \eta U_I$, 再经过整流滤波后获得的直流输出电压为

$$U_O = \eta D U_I \quad (1-1-1)$$

这表明当 η 、 U_I 为一定时, 只要改变占空比, 即可自动调节 U_O 值。例如, 当 U_O 由于某种原因而升高时, $U_r \downarrow \rightarrow D \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$ 。反之, 若 U_O 降低, 则 $U_r \uparrow \rightarrow D \uparrow \rightarrow U_O \uparrow$ 。这就是自动稳压的原理。自动稳压过程的波形如图 1-1-2 所示。 U_I 表示锯齿波发生器的输出电压, U_r 是误差电压, U_{PWM} 代表 PWM 比较器的输出电压, U_O 为开关电源的直流输出电压波形。

开关电源的基本构成及波形变换如图 1-1-3 所示。主要由以下 5 部分构成: ①输入整流滤波器: 将 50Hz 正弦波交流电压 u 变成直流电压 U_I ; ②功率开关管 (VT) 及高频变压器 (T): 实现 20kHz~1MHz 范围内的脉宽调制输出, 高频变压器的一次侧电压

为 U_P ，二次侧电压为 U_S ；③输出整流滤波器：获得直流稳压输出 U_O ；④取样电路：获得取样电压 U_Q ；⑤控制电路（PWM 调制器），含振荡器、基准电压源（ U_{REF} ）、误差放大器和 PWM 比较器：用于产生脉宽调制信号 U_{PWM} ，其占空比受取样电压的控制。除此之外，还需增加偏置电路、保护电路等。

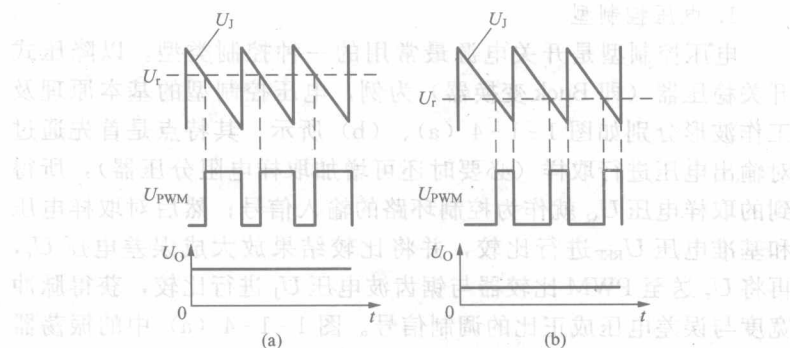


图 1-1-2 自动稳压过程的波形图

(a) 当误差电压升高时输出电压随之升高；(b) 当误差电压降低时输出电压随之降低

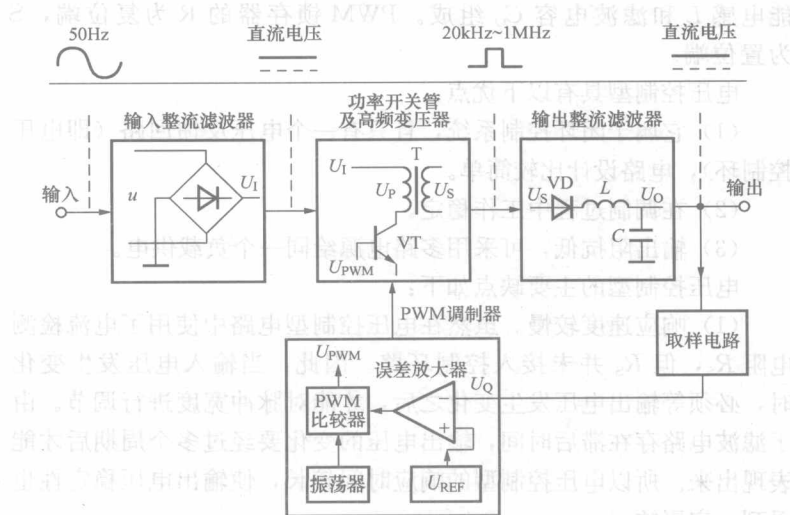


图 1-1-3 开关电源的基本构成及波形变换