



电源系列丛书

# 新编高频开关 稳压电源

曲学基  
王增福 编著  
曲敬铠

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



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电源系列丛书

# 新编高频开关稳压电源

曲学基 王增福 曲敬铠 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书介绍了开关稳压电源中常用的元器件和电路,并对各种集成电路在变换器、驱动电路、PFC 电路中的应用做了重点介绍。讲述了高频变压器、电感器和电流互感器的传统设计方法。给出了单片开关电源和模块电源的性能、特点和应用,并论述了 TOPSwitch 单片开关电源和系统电源的设计方法及设计中应注意的事项。最后,对开关电源的电磁兼容性设计和测试、可靠性预测和可靠性设计、散热设计等有关内容做了重点介绍。

本书适用于电子、航空航天、家电、通信等领域从事开关电源研发、设计和应用的工程技术人员和大、中专院校相关专业的师生,对于业余电子技术爱好者也有参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

新编高频开关稳压电源/曲学基,王增福,曲敬铠编著. —北京:电子工业出版社,2005. 11

(电源系列丛书)

ISBN 7-121-01876-4

I. 新… II. ①曲…②王…③曲… III. 高频—开关电源:稳压电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 124232 号

责任编辑:魏永昌

印 刷:北京智力达印刷有限公司印刷

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:36.25 字数:930 千字

印 次:2005 年 11 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:55.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

# 前 言

电源是各类电子设备的重要组成部分,没有一部高质量的电源,难以保证电子设备的正常工作。由于高频开关电源在重量、体积和效率等方面是线性电源无可比拟的,因此在许多领域中得到广泛应用。近些年来,由于新型功率器件和开关集成稳压器的出现,以及电力电子变换技术的进步,使开关电源又有了长足发展。许多作者从开关电源的不同侧面,撰写了大量的力作,对于促进开关电源的理论研究和生产应用起到了相当大的作用。《新编高频开关稳压电源》一书是在这种大好形势下应运而生的。希望本书的出版能对研发和生产开关电源的科技人员有所帮助。

本书共分 13 章。第 1 章概论,介绍了开关电源的发展和技术指标。第 2 章为开关稳压电源常用的元器件,其中重点介绍了可控硅(晶闸管)、MOSFET、IGBT 等功率器件的特性和选用原则。第 3 章为开关稳压电源中常用的基本电路,对开关电源中必须用到的开关电路、PWM 反馈控制电路、整流电路、基准电路等做了简要的介绍。第 4 章到第 6 章分别讲述了变换器、驱动电路和 PFC 电路,用了较大篇幅给出了部分集成控制电路的性能参数、特点和应用。第 7 章为开关电源中的变压器和电感器,介绍了高频变压器、电感器和电流互感器的传统设计方法。当然,在实际应用中,对于不同类型的开关电源,也可采用另外一套设计方法。由于篇幅有限,不能一一介绍,读者可参阅有关书籍的介绍。第 8 章和第 9 章是单片开关电源和模块电源。这是近十年来,受到国内外电源界广泛关注的高新技术产品。本书对单片开关电源和模块电源的性能、特点及应用做了详细的介绍。第 10 章为开关稳压电源的设计。由于开关稳压电源种类繁多,设计方法各异,不可能面面俱到。本书仅对中、小功率开关稳压电源、TOPSwitch 单片开关电源和以模块电源为核心部件的系统电源的设计给以介绍,特别是 TOPSwitch 单片开关电源和模块电源使开关电源设计更加简单化、电源成品更加小型化,模块电源的串、并联和均流技术为高功率开关电源的发展提供了新的途径。第 11 章为开关电源的电磁兼容性,介绍了开关电源的 EMC 设计和 EMC 测量。开关电源的抗干扰技术及抑制开关电源对电网的污染越来越受到业界的重视。EMC 认证已成为开关稳压电源研发是否成功并推向国内外市场的关键。第 12 章为开关电源的可靠性预测和可靠性设计。许多工程技术人员在设计和制作开关电源时,往往只注重技术指标的实现,却忽视了电源的可靠性,导致电源经常出现故障,缩短了电源的工作寿命。一个产品的质量是由设计决定的。要想得到高质量的开关电源,必须在电源电路的设计过程中,进行可靠性预测和可靠性设计。本书以国军标 GJB299—87《电子设备可靠性预测手册》为标准,介绍了开关电源中常用元器件的选用方法、可靠性预测和可靠性设计,并对优选电路和边缘性能设计、过应力防护设计、三防(防潮、防盐雾、防霉菌)设计做了简要说明。第 13 章为开关电源的散热设计。电源是为电子设备提供能源的,是电子设备中发热量最大且发热最集中的部分。所以,开关电源的散热设计对提高电源乃至整套电子设备的工作可靠性尤为重要。然而,大部分开关电源专业书籍中,涉及这方面的内容较少。本书将开关电源的散热设计单列一章加以重点介绍。

本书由曲学基、王增福、曲敬铠编著,还有许多同志参与了本书的编写、资料收集整理、图表制作等工作,电子工业出版社的魏永昌同志也为本书的出版做了大量工作,编者对这些同志表示谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不当或不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2005 年 8 月

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	(1)
1.1 开关稳压电源的发展 .....	(1)
1.2 开关稳压电源的技术指标 .....	(3)
1.2.1 开关稳压电源的电气技术指标 .....	(3)
1.2.2 结构规格 .....	(8)
1.2.3 环境条件 .....	(8)
1.2.4 其他条件 .....	(9)
1.2.5 开关稳压电源的各种标准 .....	(10)
1.3 开关稳压电源的组成和分类.....	(13)
1.3.1 开关稳压电源的基本原理 .....	(13)
1.3.2 开关稳压电源的组成 .....	(13)
1.3.3 开关稳压电源的分类 .....	(14)
<b>第 2 章 开关稳压电源常用的元器件</b> .....	(16)
2.1 半导体二极管.....	(16)
2.1.1 半导体二极管的伏-安特性 .....	(16)
2.1.2 半导体二极管的主要参数及其定义 .....	(16)
2.1.3 半导体二极管的简易判别方法 .....	(17)
2.2 半导体稳压二极管.....	(17)
2.3 恒流二极管.....	(18)
2.4 半导体三极管.....	(19)
2.4.1 半导体三极管的特性曲线 .....	(19)
2.4.2 半导体三极管三种基本接法 .....	(20)
2.4.3 半导体三极管的主要参数 .....	(21)
2.5 MOSFET 功率场效应管 .....	(24)
2.5.1 MOSFET 场效应管的构造及原理 .....	(24)
2.5.2 MOSFET 管主要技术参数 .....	(25)
2.5.3 MOSFET 管的外形及分类 .....	(25)
2.5.4 MOSFET 管应用时应注意的事项 .....	(27)
2.6 单结晶体管.....	(28)
2.6.1 单结晶体管的伏-安特性 .....	(28)
2.6.2 单结晶体管的主要参数 .....	(29)
2.6.3 单结晶体管三个极简易判别方法.....	(29)
2.7 可控硅.....	(29)
2.7.1 可控硅器件 .....	(29)
2.7.2 可控硅的伏-安特性 .....	(33)

2.7.3	可控硅器件型号及简易测试方法	(48)
2.8	可关断可控硅(GTO)	(49)
2.8.1	GTO的基本结构和工作原理	(49)
2.8.2	GTO的基本特性	(51)
2.8.3	GTO的主要参数	(54)
2.8.4	GTO的栅极控制信号和栅极触发电路	(57)
2.9	绝缘栅双极晶体管(IGBT)	(59)
2.9.1	IGBT的结构和特点	(59)
2.9.2	IGBT的基本特性	(60)
2.9.3	IGBT的栅极触发	(65)
2.9.4	IGBT的参数	(67)
2.10	其他元器件	(74)
<b>第3章</b>	<b>开关稳压电源中常用的基本电路</b>	<b>(86)</b>
3.1	开关电路	(86)
3.1.1	串联开关电路	(86)
3.1.2	并联开关电路	(87)
3.1.3	串-并联开关电路	(88)
3.2	PWM反馈控制电路	(88)
3.2.1	电压模式控制PWM	(89)
3.2.2	电流模式控制PWM	(90)
3.2.3	滞环电流模式控制PWM	(92)
3.2.4	相加模式控制PWM	(92)
3.3	开关电源中的电流检测电路	(93)
3.3.1	电阻检测法	(93)
3.3.2	电流互感器检测法	(94)
3.3.3	霍尔传感器检测法	(95)
3.4	开关电源中的整流电路	(98)
3.4.1	恒功率整流器	(98)
3.4.2	倍流整流器	(99)
3.4.3	同步整流器	(99)
3.5	开关电源中的保护电路	(100)
3.5.1	过电压保护电路	(100)
3.5.2	欠压保护电路	(101)
3.5.3	过电流保护电路	(101)
3.5.4	软启动电路	(101)
3.6	开关电源中的基准电路	(103)
3.6.1	电压基准的主要性能参数	(103)
3.6.2	介绍几种电压基准	(104)
<b>第4章</b>	<b>变换器</b>	<b>(105)</b>
4.1	软开关变换器	(105)

4.1.1	ZCS-PWM 变换器	(105)
4.1.2	ZVC-PWM 变换器	(107)
4.1.3	PS 软开关变换器	(109)
4.2	DC/DC 变换器	(112)
4.2.1	正激型 DC/DC 变换器	(114)
4.2.2	ZCS 正激型 DC/DC 变换器	(115)
4.2.3	单端正激型双管 DC/DC 变换器	(115)
4.2.4	并联单端正激型 DC/DC 变换器	(116)
4.2.5	并联-串联正激型双管 DC/DC 变换器	(116)
4.2.6	反激型 DC/DC 变换器	(117)
4.2.7	有源钳位 DC/DC 变换器	(119)
4.2.8	移相调宽 DC/DC 变换器	(124)
4.2.9	DC/DC 变换器的多路输出技术	(126)
4.3	AC/DC 变换器	(129)
4.4	PWM 集成控制器	(130)
4.4.1	SG3524 PWM 集成控制器	(130)
4.4.2	SG3525A PWM 集成控制器	(135)
4.4.3	TL494 PWM 集成控制器	(140)
4.4.4	$\mu$ PC1099 PWM 集成控制器	(146)
4.4.5	UC1840/UC2840/UC3840 PWM 集成控制器	(151)
4.4.6	UC1842/UC2842/UC3842 PWM 集成控制器	(154)
<b>第 5 章</b>	<b>驱动电路</b>	(161)
5.1	双极型晶体管(GTR)的驱动电路	(161)
5.1.1	双极型晶体管(GTR)的基极驱动电路	(161)
5.1.2	集成基极驱动电路	(165)
5.2	MOSFET 的驱动电路	(169)
5.2.1	MOSFET 对驱动电路的要求	(169)
5.2.2	MOSFET 的栅极驱动电路	(170)
5.3	IGBT 的驱动电路	(190)
<b>第 6 章</b>	<b>功率因数校正电路</b>	(207)
6.1	功率因数校正电路的工作原理	(207)
6.1.1	高次谐波和功率因数校正	(207)
6.1.2	功率因数校正电路	(213)
6.2	PFC 集成控制电路	(220)
<b>第 7 章</b>	<b>开关电源中的变压器和电感器</b>	(255)
7.1	开关电源对变压器的要求	(255)
7.2	磁性材料	(256)
7.2.1	磁性材料的基本特性	(256)
7.2.2	软磁材料	(260)
7.2.3	磁心结构	(268)

7.3	高频变压器的设计	(275)
7.3.1	面积乘法(AP法)	(275)
7.3.2	铁心几何参数法( $K_G$ 法)	(283)
7.4	电感器的设计	(287)
7.4.1	直流偏压电感器的设计	(287)
7.4.2	无直流偏压电感器的设计	(293)
7.5	电流互感器的设计	(296)
<b>第8章</b>	<b>单片开关电源</b>	<b>(299)</b>
8.1	TOPSwitch系列单片开关电源	(299)
8.2	TOPSwitch—II单片开关电源	(304)
8.3	TOPSwitch—FX单片开关电源	(309)
8.3.1	TOPSwitch—FX系列的性能特点	(309)
8.3.2	TOPSwitch—FX系列的工作原理	(311)
8.3.3	TOPSwitch—FX系列的典型应用	(317)
8.3.4	应用TOPSwitch—FX的注意事项	(320)
8.4	TOPSwitch—GX系列单片开关电源	(321)
8.4.1	TOPSwitch—GX系列的性能特点	(321)
8.4.2	TOPSwitch—GX与TOPSwitchII和TOPSwitch—FX的性能比较	(322)
8.4.3	TOPSwitch—GX系列的工作原理	(323)
8.4.4	TOPSwitch—GX系列单片开关电源的应用	(327)
8.5	TinySwitch系列微型单片开关电源	(333)
8.5.1	TinySwitch系列的主要性能	(333)
8.5.2	TinySwitch系列的工作原理	(334)
8.5.3	TinySwitch系列的典型应用	(337)
8.6	TinySwitch—II系列微型单片开关电源	(338)
8.6.1	TinySwitch—II系列的主要性能特点	(338)
8.6.2	TinySwitch—II系列的工作原理	(340)
8.6.3	TinySwitch—II系列的应用	(342)
8.7	MC33370系列单片开关电源	(346)
8.7.1	MC33370系列的引脚功能	(346)
8.7.2	MC33370系列的性能特点	(348)
8.7.3	MC33370系列的典型应用	(349)
<b>第9章</b>	<b>模块电源</b>	<b>(352)</b>
9.1	DC/DC功率变换模块	(352)
9.1.1	额定输入范围DC/DC功率变换模块	(354)
9.1.2	宽输入范围DC/DC功率变换模块	(360)
9.1.3	高输入电压DC/DC功率变换模块	(373)
9.1.4	非隔离型DC/DC功率变换模块	(378)
9.2	AC/DC功率变换模块	(381)
9.2.1	通用输入电压范围AC/DC功率变换模块	(383)



9.2.2	含功率因数校正的 AC/DC 功率变换模块 .....	(395)
9.2.3	密封型 AC/DC 功率变换模块 .....	(401)
9.2.4	作为外部电源的 AC/DC 功率变换模块 .....	(404)
9.3	电磁干扰滤波模块 .....	(407)
9.3.1	VI—IAM 输入抑制模块 .....	(408)
9.3.2	PN 系列电磁干扰滤波模块 .....	(409)
9.3.3	PN—F 系列电磁干扰滤波模块 .....	(409)
<b>第 10 章</b>	<b>开关稳压电源的设计 .....</b>	<b>(411)</b>
10.1	中、小功率开关稳压电源的设计 .....	(411)
10.1.1	开关稳压电源形式的选择 .....	(411)
10.1.2	中、小功率开关稳压电源的设计 .....	(412)
10.2	TOPSwitch 单片开关电源的设计 .....	(419)
10.2.1	TOPSwitch—II 系列单片开关稳压电源的设计方法 .....	(419)
10.2.2	TOPSwitch—FX 系列单片开关稳压电源的设计方法 .....	(424)
10.2.3	TOPSwitch—GX 系列单片开关稳压电源的设计方法 .....	(428)
10.3	系统电源设计与模块电源的应用 .....	(435)
10.3.1	概述 .....	(435)
10.3.2	系统电源 .....	(435)
10.3.3	并联均流技术 .....	(438)
10.3.4	电源与负载的连接 .....	(447)
10.3.5	模块的组合应用 .....	(451)
<b>第 11 章</b>	<b>开关电源的电磁兼容性 .....</b>	<b>(455)</b>
11.1	开关电源的电磁兼容性 .....	(455)
11.1.1	电磁干扰的三要素 .....	(455)
11.1.2	开关电源的电磁干扰源 .....	(455)
11.1.3	传输电磁干扰的通道 .....	(456)
11.1.4	EMI 的抑制方法 .....	(458)
11.2	开关电源的 EMC 设计 .....	(461)
11.2.1	滤波器设计 .....	(461)
11.2.2	高频变压器设计 .....	(464)
11.2.3	软开关技术和抑制干扰电路 .....	(465)
11.2.4	PBC 设计 .....	(467)
11.3	开关电源的 EMC 测试 .....	(467)
11.3.1	国内外 EMC 标准和规范 .....	(467)
11.3.2	测试条件 .....	(468)
11.3.3	EMC 测试方法 .....	(470)
<b>第 12 章</b>	<b>开关电源的可靠性预测和可靠性设计 .....</b>	<b>(472)</b>
12.1	可靠性概述 .....	(472)
12.2	可靠性预测 .....	(472)
12.2.1	可靠性预测的目的和方法 .....	(472)

12.2.2	元器件计数可靠性预测法	(473)
12.2.3	元器件应力分析可靠性预测法	(483)
12.3	电子元器件的选用和控制	(491)
12.3.1	电子元器件的选用	(492)
12.3.2	电子元器件的降额设计	(506)
12.3.3	电子元器件的老练过程和筛选	(514)
12.4	优选电路和边缘性能设计	(516)
12.4.1	正确使用元器件	(516)
12.4.2	优选电路	(516)
12.4.3	电路设计的简化原则	(517)
12.4.4	边缘性能设计	(517)
12.5	过应力防护设计	(523)
12.6	三防设计	(524)
12.6.1	潮湿环境的危害和防潮设计	(524)
12.6.2	盐雾环境的危害和防盐雾设计	(524)
12.6.3	霉菌环境的危害及防霉菌设计	(525)
<b>第 13 章</b>	<b>开关电源的散热设计</b>	<b>(526)</b>
13.1	概述	(526)
13.2	热流动方式	(527)
13.3	传导散热	(528)
13.3.1	导热体传导	(528)
13.3.2	界面传导	(529)
13.3.3	元器件的热设计	(530)
13.3.4	印制电路板的热设计	(532)
13.4	辐射散热	(534)
13.4.1	辐射散热原理	(534)
13.4.2	辐射方程式	(535)
13.4.3	辐射传递方程式	(537)
13.5	对流散热	(538)
13.5.1	自然对流散热	(538)
13.5.2	自然对流散热方程式	(539)
13.5.3	平板的自然对流散热	(540)
13.5.4	散热器的自然对流散热	(541)
13.5.5	自然对流热阻模型	(543)
13.6	强制风冷散热	(545)
13.7	强气流风冷散热系数的计算	(548)
13.8	机箱的热设计	(549)
13.8.1	自然散热机箱的热设计	(549)
13.8.2	通风机箱的热设计	(550)
13.8.3	强迫冷却机箱的热设计	(550)

13.8.4	机箱内气流速度和静压损失 .....	(551)
13.9	大机柜的散热设计 .....	(554)
13.9.1	大机柜的散热公式 .....	(555)
13.9.2	有若干隔层的大机柜的自然对流散热 .....	(556)
13.10	强制水冷散热 .....	(557)
13.11	热容 .....	(561)
13.12	热设计程序 .....	(564)
13.12.1	热设计程序 .....	(564)
13.12.2	热设计检查一览表 .....	(564)
<b>参考文献</b>	.....	(566)

# 第 1 章 概 论

电子设备离不开电源,电源供给电子设备所需要的能量,这就决定了电源在电子设备中的重要性。电源的质量直接影响着电子设备的工作可靠性,所以电子设备对电源的要求日趋增高。

现有的电源主要由线性稳压电源和开关稳压电源两大类组成。这两类电源由于各自的特点而被广泛应用。线性稳压电源的优点是稳定性好、可靠性高、输出电压精度高、输出纹波电压小。它的不足之处是要求采用工频变压器和滤波器,它们的重量和体积都很大,并且调整管的功耗较大,使电源的效率大大降低,一般情况均不会超过 50%。但它的优良的输出特性,使其在对电源性能要求较高的场合仍得到广泛的应用。相对于线性稳压电源来说,开关稳压电源的优点更能满足现代电子设备的要求,从 20 世纪中期开关稳压电源问世以来,由于它的突出的优点,使其在计算机、通信、航天、办公和家用电器等方面得到广泛应用,大有取代线性稳压电源之势。

开关稳压电源的主要优点有:

- (1) 效率高;
- (2) 可靠性和稳定性较好;
- (3) 体积小、重量轻;
- (4) 对供电电网电压的波动不敏感,在电网电压波动较大的情况下,仍能维持较稳定的输出。

但是,由于开关稳压电源中的功率开关管处于开/关状态,使其存在输出纹波电压较高、瞬变响应较差、对电网和外部电子设备有电磁干扰等缺点。

今后,开关稳压电源的发展,除了继续保持已有的优点外,主要是采用技术和工艺措施来克服上述缺点。

## 1.1 开关稳压电源的发展

### 1. 提高元器件的性能

开关稳压电源的发展与元器件的发展相辅相成。开发大功率高速开关器件和低损耗磁性材料会对开关稳压电源的发展具有推动作用。反之,开关稳压电源的发展又会对元器件提出新的要求。

功率 MOSFET 和 IGBT 可使开关稳压电源的工作频率做到 400kHz 以上,有的可以达到 1MHz。新型的碳化硅半导体器件的研发将会使开关稳压电源的发展进入一个新的阶段。

20 世纪 90 年代,由于第四代功率铁氧体磁性材料的开发成功,使开关稳压电源的工作频率达到 500kHz 以上成为可能。高频开关稳压电源的发展有赖于 PW4 软磁铁氧体材料(适用频率 300kHz~1MHz)的大批量生产和 PW5 软磁铁氧体材料(适用频率 1~3MHz)的研发成功和投产。

在开关稳压电源中常用的电容器有陶瓷电容器、薄膜电容器、铝电解电容器和钽电容器等。其中超容电容器的发展尤其引人注目。超容电容器具有非常大的电极表面和非常小的电极相对距离,这样可制造出超大容量的电容器,其单元容量可做到 $10\sim 2700\text{F}$ 。超容电容器串联可组成高压组件,这种组件的耐压可做到 $650\text{V}$ 以上,超容电容器的并联可组成高储能组件,组件的容量可达到数倍单元电容器的容量。超容电容器为开关稳压电源的滤波器的发展提供了新的途径。

高频变压器为开关稳压电源的重要组件。平面变压器为近几年新研发出来的产品,它与普通的高频变压器不同之处是没有铜导线,而用单层或多层印制电路板取而代之,因此它的厚度薄,可直接印制在电路板上。它的优点是能量密度高,体积小,只有普通高频变压器的四分之一左右。另外它的效率很高,一般可达 $97\%\sim 99\%$ 。它的工作频率可达 $500\text{kHz}\sim 2\text{MHz}$ ,漏感也很小,可以做到小于 $2\%$ 。再一个突出的优点是电磁干扰小。

## 2. 提高电路的集成化

减小开关稳压电源的体积和重量,降低功耗,提高效率,增高电源工作的可靠性,并为使用和维修提供方便,要求开关稳压电源的电路应最大限度的集成化。这种集成化不仅仅限于单元电路的集成,也包括整个开关稳压电源的集成,即电源的模块化。

20世纪80年代初,集成化的开关稳压器问世以来,国外相继研制和生产了多种单片开关稳压器,它们的共同特点是集脉宽调制器、功率输出级、保护电路等置于一个芯片中,但在应用时仍需未经稳压的直流输入。20世纪90年代中期以后美国PI公司、Onsemi公司、Motorola公司和荷兰Philips公司相继推出交流输入的单片开关稳压器。由于不需要未经稳压的直流输入,便可免去了工频变压器,使开关稳压电源进一步微型化。

## 3. 采用推广新技术

除了应用新型大功率器件和电路集成化,还要推广某些新技术进一步提高开关稳压电源的性能和可靠性。这些新技术包括:

### 1) 软开关技术

在开关稳压电源发展的初期阶段,功率开关管的开通或关断是在器件上的电压或电流不为零的状态下进行的。也就是说,是在器件上的电压未达到零电压时强迫器件开通,在器件中流经的电流未达到零电流时强迫器件关断。这种工作状态称之为“硬开关”。这种硬开关技术使得开关损耗增大,并随开关频率的提高,开关损耗也随之增大。所以,硬开关技术限制了开关稳压电源的工作频率和效率的提高。

20世纪70年代软开关技术的出现,使开关稳压电源的工作频率和效率大大提高。所谓“软开关”是指零电压开关(Zero-Voltage-Switching, ZVS)或零电流开关(Zero-Current-Switching, ZCS),它是应用谐振原理,使开关器件中的电压(或电流)按正弦规律变化,使电压为零时,器件开通;或者电流为零时,器件关断。这样一来,开关损耗可以做到为零。应用软开关技术,可以使开关稳压电源的工作频率达到 $\text{MHz}$ 的量级。

### 2) 同步整流技术

从目前开关稳压电源的应用情况来看,其发展方向趋于低电压、大电流。在这种情况下,以前是应用肖特基二极管做次级整流,当开关稳压电源的输出电压降低时,这种整流方式会使电源的效率大幅度下降。如输出电压为 $5\text{V}$ 时,效率不到 $85\%$ ;输出电压为 $3.3\text{V}$ 和 $1.5\text{V}$ 时,

其效率仅分别为 80% 和 65%。

利用同步整流技术可以大大提高低电压开关稳压电源的效率。同步整流技术是通过控制功率 MOSFET 管的驱动电路来实现功率 MOSFET 管完成整流功能的技术。利用同步整流技术大大提高了次级整流的效率,使开关稳压电源的效率达到 90% 以上。

### 3) 功率因数校正技术

开关稳压电源的电磁干扰是其主要缺点之一。为了减小开关稳压电源对供电电网的污染和对外部电子设备的干扰,电源中普遍采用了功率因数校正技术。功率因数校正技术的主要作用是使电网输入到电源的电流波形近似为正弦波,并与输入的电网电压保持同相位,即实现功率因数  $f_p=1$ 。

功率因数校正有两种方法:无源功率因数技术和有源功率因数技术。无源功率因数技术是采用电感电容滤波来提高功率因数,它提高功率因数的效果不理想,并且体积大、笨重。有源功率因数技术是利用一个变换器串入在整流滤波器和 DC/DC 变换器之间,控制输入电流紧随输入电压,从而实现功率因数  $f_p=1$  的目的。

从 20 世纪 90 年代以来,国外推出大量功率因数校正专用的集成电路,如德国的 Siemens 公司、美国 Micro Linear 公司、Motorola 公司和韩国三星公司等相继研发成功专用的功率因数校正集成电路。

## 1.2 开关稳压电源的技术指标

### 1.2.1 开关稳压电源的电气技术指标

#### 1. 输入技术指标

开关稳压电源的输入技术指标包括输入电源相数、额定输入电压和电压变化范围、频率、输入电流、输入电压瞬时下降或瞬时断电、冲击电流、漏电流和效率等。

##### 1) 输入电源相数

输入电源一般采用单相两线制或三相三线制,也有用单相三线制和三相四线制的。该供电方式除供给电源的相数外,还要标明包括后面将要提到的漏电流指标在内的输入线的使用条件。例如,使用单相两线或三相四线中的 1 线与中线及供电系统的接地条件等。

##### 2) 额定输入电压和电压变化范围

电源的额定输入电压因不同国家和地区而异。如日本的配电为交流 100V 和交流 200V,美国的配电为交流 120V,欧洲为交流 220~240V,我国为交流 220V 和交流 380V。变化范围一般为  $\pm 10\%$ ,但考虑到配电线路和各国或地区的不同配电情况,输入电压的变化范围多为  $-15\% \sim +10\%$ 。有的国家为适应不同国家和地区的配电情况,对出口电源设备的额定输入电压做了相应的变通,如日本的出口设备的输入电压多采用交流 85~132V(以便向交流 100~120V 的国家和地区出口)和交流 170~264V(以便向交流 200~240V 的国家和地区出口)。

开关稳压电源几乎都以电容输入平滑方式作为输入部分,所以会出现高次谐波失真引起的电压尖峰的问题,不过在正弦波的情况下可以保证上述的输入电压范围。但在输入电压失真较大时,应给以特殊标明。在采用三相输入时,虽然存在相电压不平衡的现象,但均在输入电压变化范围之内。

### 3) 频率

工业用电额定频率为 50Hz 或 60Hz,当频率在 48~63Hz 时,不会影响开关稳压电源的特性。作为特例,船舶上用的供电电源频率为 400Hz。随着频率的增高,输入滤波器的电容电流和输入整流二极管的损耗都会增加,从而降低了电源的效率,若考虑要满足 EMI 指标,应采取的措施来减小此影响。

### 4) 输入电流

开关稳压电源的输入电流的最大值定义为输入电压是下限值,输出电压和电流是上限值时的输入电流。

额定输入电流定义为输入电压、输出电压和输出电流为额定值时的输入电流。

开关稳压电源的输入滤波方式是电容滤波方式,其峰值电流较大,因此要根据电流峰值因数和功率因数来确定输入电流值。

### 5) 输入电压瞬时下降或瞬时断电

在输入电压瞬时下降或瞬时断电时,在额定输出电压和电流条件下的输入电压定义为额定输入电压。一个正常工作中的开关稳压电源,其输出电压一直保持在电压精度范围内,此时瞬时出现跌落的输入电压及其维持时间称之为输入下陷(或输入下降)。瞬时断电的规定为 10ms 和 20ms,在电源实际应用中,以此规定瞬时断电,一般情况下不会发生问题。当输入为下限值时,输出保持时间会变得很短,不过在 100% 输出使用的情况并不多见,所以开关稳压电源在额定输入条件下应用时,发生瞬时断电,一般也不会发生问题。

### 6) 冲击电流

当输入电压按规定的时间间隔进行通断时,输入电流达到稳定状态之前所通过的最大瞬时电流定义为冲击电流。对于开关稳压电源来说,其冲击电流是指电源刚刚接通输入电压和输出电压开始上升时流经的峰值电流,其数值一般为 20~50A。

一般情况下,当输入电压瞬时下降和瞬时断电时,防止冲击电流的功能通常不起作用。另外,用热敏电阻来防止冲击电流时,由于热敏电阻只能防止冷启动时的冲击电流,所以热敏电阻对每隔几十秒的通断,起不到防止冲击电流的作用。因此,要规定接通和断开的变换时间。

### 7) 漏电流

漏电流是指流经输入侧地线的电流。在开关稳压电源中,主要是通过静噪声滤波器的旁路电容的漏泄电流。

漏电流规范是为防止触电危险的发生,一般规定为 0.5~1mA。

### 8) 效率

开关稳压电源的效率定义为当输入和输出均为额定值时,其输出功率与输入有效功率的比值。效率随输出电压、电流、功率因数和开关方式的不同而异,一般均可达到 65%~80%。效率也受输入和输出的环境条件的影响,所以应注意开关稳压电源的散热条件。

## 2. 输出技术指标

开关稳压电源的输出技术指标包括额定输出电压、额定输出电流、稳压精度、输出电压可调范围、输出电流可调范围和纹波噪声等。

### 1) 额定输出电压

额定输出电压是指在输出端子之间的直流电压标称值。对该标称值要规定其精度和纹波系数等。

## 2) 额定输出电流

额定输出电流是指输出端供给负载的最大平均电流值。根据不同的电子设备,在多路输出中,若某一路输出电流增加,其他各路的输出电流就会减小,使总的输出电流保持不变。有时还存在着各副边线圈输出电流总和与原边线圈的容量不等,对此都要详细说明。

## 3) 稳压精度

稳压精度也称之为电压精度或电压调整率。对稳压精度可理解为当发生改变输出电压的因素时,输出电压的变化量或者该变化量除以额定输出电压之值。下面综合讲述引起输出电压变化的各种因素。

(1) 静态输入电压变动:是指其他指标均为额定值,输入电压在指定范围内发生缓慢变化时输出电压的变动。

(2) 静态负载变动:是指其他指标为额定值,输出电流在指定范围内发生缓慢变化时输出电压的变动。在多路输出条件下,由于存在着非稳定输出的情况,所以在指定输出电流的变化范围时,应该规定最低输出电流。最低输出电流下的规定精度,是指保护功能发挥作用时的情况。小于最低输出电流下的规定精度,是指保护功能不发挥作用时的情况。此外,在多路输出的电源中存在着不同的输出电路结构,某一路的静态负载变动会受到其他各路静态负载变动的影 响,这称为静态相互负载变动。

(3) 环境温度变动:是指其他指标为额定值,输出电压在指定温度范围内的变动。

(4) 初始偏差:是指输入和输出均为额定值时,从接入输入电压开始到指定时间内的输出电压的变动。指定时间通常为 30 分钟。

(5) 时效偏差:是指输入和输出均为额定值时,从接入输入电压后某一指定时间开始到下一指定时间内的输出电压的变动,也叫长时偏差。指定时间通常为 30 分钟到 8 小时。在测定初始偏差后可直接转入时效偏差的测定。

(6) 动态输入变动:是指输入电压按指定的变化幅度发生剧变时输出电压的变动。开关稳压电源的输入电压变化幅度一般都不很大,其变化幅度可按输入电压的下限到输入电压的上限来确定。

(7) 动态负载变动:是指其他指标为额定值,输出电流在指定的幅度范围内做剧变时输出电压的变动。除指定输出电流的幅度变化范围外,还要限定输出电流剧变时的上升时间和下降时间,不考虑脉冲负载,其上升和下降时间分别为额定输出电流的 20% 和 50%。

(8) 纹波噪声:关于纹波噪声可参阅后面的 6) 条。有的根据不同电源只规定纹波部分的精度而对噪声另行规定。

## 4) 输出电压可调范围

输出电压可调范围是指在保证稳压精度的条件下,可从外部调节输出电压的范围。一般为  $\pm 5\%$  和  $\pm 10\%$  左右。测定输出电压可调范围的条件是在输入电压为最小值时,测定输出电压的最大值,而在输入电压为最大值时,测定输出电压的最小值。

## 5) 输出电流可调范围

在按不同的电子设备确定负载电流时,要尽可能详细地标出有关电流变化的大小,包括感性负载产生较大冲击电流的变化范围。如图 1-1 所示,既要说明输出电流波形,也要标明峰值和时间的关系。在平均电流小而峰值电流大的情况下,会产生输出电流剧变响应,即产生保护电路失效的激励现象。开关稳压电源的复位时间因变换频率和电流变动幅度等而异。若按图 1-1 所示波形,规定复位时间为 0.2~0.5ms。



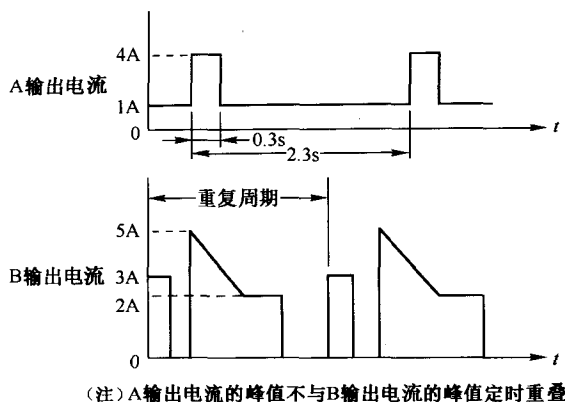


图 1-1 脉冲输出电流的波形图

此外,作为输出条件,一定要标明所接负载电容器的容量。

### 6) 纹波噪声

如图 1-2 所示。纹波是出现在输出端子间的一种与输入频率和开关变换频率同步的分量,用峰-峰值表示,一般在输出电压的 0.5% 以内。

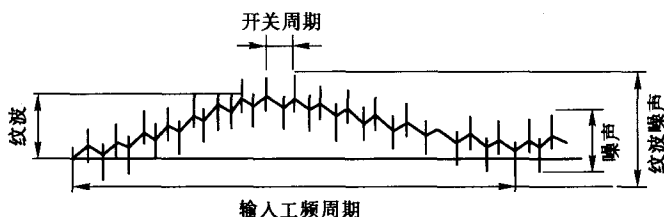


图 1-2 开关稳压电源的纹波噪声

噪声是出现在输出端子间的纹波以外的高频分量。同纹波一样,也是用峰-峰值来表示,通常为输出电压的 1% 左右。规范上是纹波和噪声的合成值,多数情况下规定纹波噪声的合成值为输出电压的 2% 以下。噪声几乎都是发生在电容器与负载相连接的情况下。

某些特殊情况下,有些设备对噪声的上升和下降速率( $du/dt$ )的要求比噪声的绝对值还要严格,这时要另行加以规定。

不仅输出端子间,而且输出端子的帧衬片间也都应该有噪声指标。但通常由于输出一端连接在信号地线上,故不加以规定。即使规定,也只能在 1V 左右。然而这时由于输出端子的帧衬片间存在有数千到数万 pF 的电容量,所以连接负载的线路陷波很大,要注意会因脉冲负载和合用线的不同用法而发生激励。

## 3. 附属功能

### 1) 过流保护

过流保护是当输出短路或过负荷时对电源和负载提供保护的功能。保护特性有开关补偿特性(也叫额定电流下垂特性或 7 字型特性)、恒流特性和恒功率特性,如图 1-3 所示。过流的限定值一般为额定电流的 110%~130%。但在电源和负载不被损坏的前提下,也可不给出过流保护,而只对短路做出保护。复位一般为自动复位型。

### 2) 过压保护

过压保护是当输出端产生过高的电压时,对负载进行保护的功能。过压保护值一般规定