

# 开关电源

维修

## 从入门到精通

第二版

孙莹 / 编著

开关电源维修，  
原来如此简单！

 中国工信出版集团

 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 开关电源维修从入门到精通

(第二版)

孙莹 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是一本开关电源维修教程,详细地介绍了生活中最常见的4种开关电源(台式计算机中的ATX电源、电动车充电器、手机或平板电脑充电器、LCD液晶显示器中的电源)的原理和维修知识。同时,本书对电路原理进行了详细描述,并提供许多电路及实物大图,做到理论与实践相结合,便于读者阅读与理解。本书第二版在第一版的基础上,增加了单管正激和主动式PFC+双管正激开关电源的原理和维修知识。

本书非常适合初步接触开关电源维修、具有基本电学知识的业余爱好者阅读,也可作为硬件培训机构的课程教材,对从业维修人员具有较高的参考价值。

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

开关电源维修从入门到精通 / 孙莹编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2017.3

ISBN 978-7-121-30998-4

I. ①开… II. ①孙… III. ①开关电源—维修 IV. ①TM91

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第038055号

策划编辑:李树林

责任编辑:底波

印刷:北京京科印刷有限公司

装订:北京京科印刷有限公司

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

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:403千字

版次:2015年7月第1版

2017年3月第2版

印次:2017年3月第1次印刷

定价:45.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254463, lisl@phei.com.cn。

# 前 言

首先感谢购买本书第一版的读者，没有你们的肯定，就不会有本书的第二版。

在第一版出版后，不断有读者与我联系，提出了各种问题：既有询问具体技术问题的，也有反映编写及印刷错误的，还有要求增加新内容的。在此，我一一进行回复。

第一版中的编写及印刷错误。在第二版中，我与编辑一起，重新对本书进行了梳理，对发现的问题一一改正。

关于新内容的增加。应读者的要求，本书的第二版增加了单管正激和双管正激拓扑。有的读者还要求增加大功率逆变器及全桥开关电源的内容。如果本书能继续再版，我会继续增加大功率逆变器的内容。至于全桥开关电源，我将这部分内容放到了正在编写的另一本书中，书名是《电动汽车控制器及充电机维修》，也将由电子工业出版社出版。

还有读者反映本书的深度不够、浅尝辄止，我重点回复一下这个问题。

我创作此书的最初目的是帮助具有基本电路基础的读者入门。这里的“基本电路基础”是指具有高中物理学力的读者。这是因为很多从事开关电源维修的人只具有高中所学的物理知识。因此，我在创作此书时，对定律、公式就采取了回避的态度。这并没有降低本书的创作难度，反而极大地增加了本书的创作难度。因为对外行人说内行话，要比对内行人说内行话难得多。

在元件基础部分，我采用了与别人不同的表达方式。不是因为这样更科学，而是因为这样更通俗易懂。在具体电源的选用上，我选择的都是廉价易得的开关电源。有的读者问我为什么不选择一些更有价值的电源，如设备电源（机床、ATM 等），我跟他说普通读者是很难获取这些特殊电源的。在电源的呈现上，我采用了实物跑线图的形式，使用 Photoshop 对高清图中的几乎每个元件、每条线路都进行了标记。工作量之大，信息之完备，都是同类书籍中少见的。

本书配有资料包，资料包放在 <http://yydz.phei.com.cn> 的“资源下载”栏目下，读者可自行下载使用，该资料包收录了本书用到的部分不便于印刷的图片。如有必要，读者可直接联系笔者索取本书中所有用到但未包含在资料包中的图片。

我想给读者一个成为高手的可能，仅此而已。

最后，如果读者确实遇到了疑难电源，也可以将实物发给我，我们共同探讨。我的联系方式是 QQ: 25067506; 手机: 13869536183。

孙 莹

# 目 录

## 第 1 部分 ATX 电源

第 1 章 ATX 电源综述	2
1.1 ATX 电源与开关电源的关系	4
1.2 ATX 电源电路板上的基本元件	7
1.3 ATX 电源电路板上的芯片	7
1.4 ATX 电源主板上的变压器	8
1.5 ATX 电源使用的螺钉	11
1.6 ATX 电源中的地和正负极	11
1.7 ATX 电源中的功率	13
第 2 章 如何认识 ATX 电源及维修 仪器	16
2.1 通过电路板上的标识认识 ATX 电源	16
2.2 通过跑线认识 ATX 电源	16
2.3 跑线的工具和基本方法	17
2.4 认识要求	18
2.5 万用表在 ATX 电源维修中的 用途	18
2.5.1 万用表在 ATX 电源维修中的 具体用途	18
2.5.2 数字万用表二极管挡的功能	18
2.5.3 用万用表测量的对地阻值	19
2.5.4 如何根据对地阻值对是否存在 故障元件进行判断	20
2.5.5 关于“反向对地阻值”伪 概念的辨析	20
2.5.6 万用表表笔的改装	20
2.6 电容表	21
2.7 示波器	21
2.8 假负载	21

第 3 章 开关电源元件的深入分析	24
3.1 电阻	24
3.1.1 贴片电阻及其阻值	24
3.1.2 精密贴片电阻及其阻值	25
3.1.3 直插(色环)电阻及其阻值	25
3.1.4 电阻阻值的测量	26
3.2 电容	26
3.2.1 电容的分类及作用	26
3.2.2 ATX 电源上的电容	28
3.2.3 电容容量的测量	29
3.2.4 电容充电与放电	29
3.3 二极管	30
3.3.1 齐纳二极管与稳压二极管的 关系	30
3.3.2 齐纳二极管的测量	33
3.3.3 二极管的钳位	34
3.3.4 全桥	34
3.3.5 整流二极管的型号识别	35
3.4 三极管	35
3.4.1 三极管的结构和符号	36
3.4.2 三极管 EC 间的电流方向与 工作状态	36
3.4.3 三极管的开关原理与基极感应 电压	37
3.4.4 信号三极管传递信号的原理及 作用	40
3.4.5 三极管的测量	41
3.4.6 三极管与门的关系	42
3.4.7 ATX 电源的主开关管	43
3.5 场效应管	44
3.5.1 场管通识——增强型绝缘栅场 效应管的结构及图例	44

3.5.2	场管通识——场管 DS 间的 电流方向与工作状态·····	44	3.10.2	ATX 电源直流输出端子及其 真实阻值和对地阻值·····	79
3.5.3	场管通识——场管触发及导通的 开关原理·····	45	3.11	ATX 电源中的各种芯片·····	80
3.5.4	场管通识——沟道类型已知的 正常场管的测量顺序·····	47	3.11.1	辅助电源 PWM 之 DM0265·····	80
3.5.5	场管通识——对坏场管的 定义·····	48	3.11.2	辅助电源 PWM 之 0165R·····	81
3.5.6	场管通识——一个坏场管的 测量过程·····	48	3.11.3	主电源 PWM 之 TL494/ KA7500·····	81
3.5.7	场管的极性顺序及用万用表 判断沟道和极性·····	48	3.11.4	主电源 PWM 之 KA3511·····	86
3.5.8	场管的具体测量过程·····	48	3.11.5	主电源 PWM 之 384X·····	88
3.5.9	场管的型号识别·····	50	3.11.6	主电源“监控及 PG”之 TPS3510/WT7512·····	90
3.6	电感与变压器·····	50	3.12	可控硅·····	90
3.6.1	电感线圈的绕制·····	51	<b>第 4 章</b>	<b>ATX 电源的电路·····</b>	<b>95</b>
3.6.2	电感线圈的自感·····	52	4.1	EMI 电路·····	95
3.6.3	电感线圈的互感与同名端、 异名端·····	54	4.2	辅助电源回路·····	95
3.6.4	实际变压器同名端、异名端的 判断·····	57	4.2.1	辅助电源回路的作用·····	96
3.6.5	变压器的结构·····	59	4.2.2	辅助电源回路的工作原理·····	96
3.6.6	ATX 电源用变压器的种类及 功能·····	60	4.2.3	另一种辅助电源回路·····	102
3.6.7	辅助变压器·····	61	4.2.4	B+及 5VSB 的短路·····	104
3.6.8	脉冲驱动变压器·····	64	4.3	主电源回路·····	105
3.6.9	主变压器·····	67	4.3.1	主电源回路的激励方式·····	105
3.7	运算放大器·····	70	4.3.2	双 NPN 推挽放大电路·····	106
3.7.1	运算放大器的引脚定义及 实物图·····	70	4.3.3	主开关管驱动 RCD·····	107
3.7.2	运算放大器的工作原理·····	71	4.4	主电源的它激振荡源—— 494 (7500)·····	108
3.7.3	作为门使用的运算放大器·····	72	4.5	低压整流回路·····	110
3.8	光耦·····	73	4.5.1	整流二极管·····	110
3.9	精密稳压器 431·····	75	4.5.2	磁放大稳压电路·····	110
3.10	市电输入/输出端子与直流 输出端子·····	77	4.6	ATX 电源的 PG 电路·····	113
3.10.1	ATX 电源市电输入端子及其 真实阻值和二极管挡压降·····	78	4.6.1	LWT20XX 型 ATX 开关电 源的 PG 电路·····	114
			4.6.2	ATX300P4 型 ATX 开关电 源的 PG 电路·····	116
			4.7	ATX 电源的开机电路·····	116
			4.7.1	LWT20XX 型 ATX 开关电 源的开机电路·····	117
			4.7.2	ATX300P4 型 ATX 电源的 开机电路·····	120

4.8	主回路为单管正激拓扑的 ATX 电源	122	6.3.6	总结	164
4.8.1	单管正激拓扑与双管半桥拓扑的原理图区别	122	6.4	两种 48V-A 型电动车充电器改进型号	164
4.8.2	单管正激拓扑 ATX 的开关管驱动及辅助变压器	126	6.4.1	具有充电电流过流保护功能的 48V-A 型充电器	164
4.8.3	以 384X 和 WT7510 为核心的单管正激拓扑 ATX	126	6.4.2	另一种有充电电流过流保护功能的 48V-A 型充电器	165
4.9	主动式 PFC 与主回路为双管正激拓扑的 ATX 电源	130	6.5	48V-B 型电动车充电器	168
4.9.1	为什么要发展 PFC	131	6.5.1	48V-B 型充电器的电路图及其充电过程的实测	168
4.9.2	主动 PFC 与 Boost 升压电路	132	6.5.2	CD4060——时间继电器 (计数器)	171
4.9.3	双管正激拓扑	133	6.5.3	48V-B 型电动车充电器的工作原理	174
4.9.4	主动 PFC+双管正激 ATX 电源 (长城 BTX-400SD)	135	6.5.4	总结	177
<b>第 5 章</b>	<b>ATX 电源维修实例</b>	141	6.6	由单片机 (MCU) 控制的 48V 充电器	178
5.1	航嘉 BS-3600	141	6.6.1	TL3288	179
5.2	鑫谷核动力 530PV	142	6.6.2	48V-MCU 型充电器的工作原理	182
5.3	假航嘉 LW-6228 P4	143	6.6.3	总结	188
5.4	假多彩龙卷风 DLP-315A	143	<b>第 7 章</b>	<b>电动车充电器故障类型及维修实例</b>	189
5.5	山寨电源——辅助电源故障 1	144	7.1	电动车充电器输入保险丝炸裂	189
5.6	山寨电源——辅助电源故障 2	145	7.2	电动车充电器输出电容有 55V 但无法充电	190
<b>第 2 部分</b>	<b>电动车充电器的原理及维修实例</b>		7.3	48V-A 型充电器空载时电源指示灯亮但绿灯不亮	191
<b>第 6 章</b>	<b>电动车充电器</b>	150	7.4	某品牌充电器综合维修	192
6.1	48V-A 型电动车充电器所使用的元件	151	7.5	某充电器取样电阻变质	194
6.2	手工测绘制作 48V-A 型电动车充电器的电路图	153	7.6	某充电器开关管剧烈发热	195
6.3	48V-A 型电动车充电器的工作原理	157	<b>第 3 部分</b>	<b>小型 (小功率) 适配器</b>	
6.3.1	整流滤波电路	158	<b>第 8 章</b>	<b>5V 小功率充电器</b>	198
6.3.2	高压侧主回路 (它激励回路)	158	8.1	5V-A 型充电器	198
6.3.3	低压侧稳压电路	160	8.1.1	5V-A 型充电器的电路图	198
6.3.4	低压侧整流电路	161	8.1.2	5V-A 型充电器的工作原理	199
6.3.5	状态检测及控制电路	162			

8.2	5V-B 型充电器的工作原理	201	10.1.4	全桥逆变器	211
8.2.1	5V-B 型充电器的电路图	202	10.2	逆变器类型的判断及升压 变压器	212
8.2.2	5V-B 型充电器的电路原理	202	10.2.1	推挽逆变器	212
<b>第 4 部分 LCD 液晶显示器的电源及逆变器</b>					
<b>第 9 章 LCD 液晶显示器中的电源</b> 206					
9.1	LCD 液晶中的 8 脚 PWM	206	10.2.2	全桥逆变器	214
9.2	LCD 的电源排查要点	207	10.2.3	半桥逆变器	216
9.3	以 LD7552 为核心的 LCD 电源	207	10.2.4	一种特殊的半桥逆变器及其 升压变压器	218
<b>第 10 章 LCD 液晶显示器中的逆变器</b> 209					
10.1	逆变器的分类	209	10.3	如何用可调电源和代换用 高压板点亮灯管	219
10.1.1	Royer 逆变器	209	10.4	TL494 驱动的推挽逆变器 (双灯) 电路分析	223
10.1.2	推挽逆变器	210	10.5	OZ9938 驱动的全桥逆变器 (四灯) 电路分析	232
10.1.3	半桥逆变器	211	10.6	BIT3193G 驱动的半桥逆变器 (四灯) 电路分析	239



# 第 1 部分 ATX 电源

ATX 电源是台式计算机使用的开关电源。

在日常生活中，台式计算机早已广泛普及。对于有志于学习开关电源维修的人而言，如果能以 ATX 电源为最早的研究对象，将降低学习成本。因此，笔者将 ATX 电源作为本书的第一个研究对象来介绍。

本部分有关基本元件的内容也同样适用一切其他开关电源。

# 第1章 ATX 电源综述

任何用电器都不能没有电源，台式计算机当然也不能例外。

在台式计算机中，直接为其提供电能的是“ATX”电源。历史地看，ATX 电源实际上是在更早期的“AT”电源（已被淘汰）的基础上发展起来的。

通过对任意 ATX 电源的观察不难发现，ATX 电源实际上是以交流市电 220V（有的还可以通过机械开关切换为交流市电 110V）为输入，以±12V、±5V、3.3V 等几组直流输出以及 5VSB 直流输出和 PG（Power Good）、PSON（Power Supply ON）等信号为输出的 AC/DC 变换器。

隐藏于 ATX（由镀锌板或镀镍板制成的长方体壳体）内部的电路需要完成两项工作：一是完成从交流市电 220V 到±12V、±5V、3.3V、5VSB 的 AC/DC 变换；二是提供控制 ATX 电源启动与停止的 PSON 开关信号、在 ATX 电源启动后输出表征其各路输出已经正常的指示信号 PG。

ATX 电源输出端子上的各个引脚是按照固定顺序依次编号的，并且输出端子所使用的电缆的颜色也具有明确的含义，即特定颜色对应特定输出电压或信号。ATX 电源输出端子的各个引脚的排序编号以及所使用的电缆的颜色与输出电压的对应关系如图 1-1（清晰大图见资料包第 1 章/图 1-1）所示。

VCC	颜色	位置	正常范围
3.3	橙	1 2 11	3.135~3.465
5	红/灰/紫/绿	4 6 8 19 20 8 9 14	4.75~5.25
12	黄	10	11.4~12.6
-12	蓝	12	-11.4~-12.6
-5	白	18	-4.75~-5.25

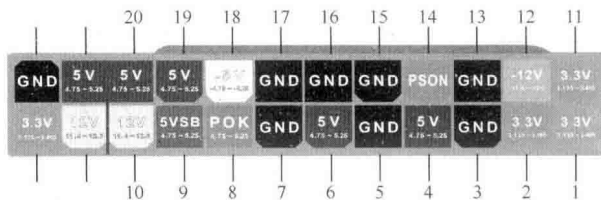


图 1-1 引脚的排序编号及所用电缆的颜色与输出电压的关系

接下来，我们将通过使用万用表实测 ATX 电源输出端子的各个引脚的直流电压的方法，来初步分析一下 ATX 电源的各路直流输出及信号。

任意选取一个正常的 ATX 电源，用电源线将交流市电 220V 接入 ATX 电源，将万用表置于直流电压挡后测量 ATX 电源的 20/24 针输出端子上各个引脚的直流电压（黑表笔接 3、5、7、13、15、16、17、ATX 电源外壳均可，红表笔接其他引脚）。

通过实测不难发现，在遍历测量所有除地线（黑色电缆）以外的引脚电压的过程中，一共可以在两个引脚上测到不为 0V 的直流电压：在经紫色电缆引出到输出端子的第 9 脚(5VSB，

又常被称为“紫 5V”、“待机 5V”)上,测到一个约 5V 的电压;在经绿色电缆引出到输出端子第 14 脚(PSON,又常被称为“绿 5V”)上,测到一个 3~5V(5V 居多)的直流电压。除此之外,在其他各脚上测得的电压均为 0V。

这个实测过程能明确说明以下问题:在 ATX 电源各路直流输出中,5VSB 是一个比较特殊的输出。它的产生时间要早于 $\pm 12V$ 、 $\pm 5V$ 、3.3V。实际上,只要 ATX 电源接入交流市电 220V,5VSB 就应该产生。

这个实测过程还比较明确地揭示了 5VSB 和绿 5V 之间的关系:我们有充分的理由可以大胆推测,PSON 上的 5V 直流电压很有可能就是由 5VSB 直接或间接提供的(事实上的确如此)。就算是 PSON 与 5VSB 没有直接关系,二者也应该在 ATX 电源的加电时序上密切相关。因为 PSON 是 ATX 电源在接入市电后紧随 5VSB 的正常而正常起作用的唯一的控制信号。

PSON 的英文全文为 Power Supply ON,其中 Power Supply 指 ATX 电源,ON 指打开。按照字面意思去理解,PSON 就是控制 ATX 是否打开的控制开关。实际上也的确如此,但 PSON 与通常意义上的开关有很大的不同。比如台灯的开关,用手指打开开关,台灯变亮,用手指关闭开关,台灯变灭。台灯开关作为一个看得见摸得着的实体开关,是非常容易被理解的。反观 PSON,它在物理上是一个用绿色电缆从 ATX 电源内部引出至 ATX 电源输出端子的一个引脚(14 脚,上有一个 3~5V 的电平)。可见,就算 PSON 真的是 ATX 电源的开关,那也的确是一种与台灯开关有显著差异的开关。

无论是看得见摸得着的台灯机械开关,还是形如 ATX 电源的 PSON 开关,我们都可以首先从直观感性的角度出发,去设想一下是不是天底下的一切开关都应该具有某种共性(而不论其具体物理状态如何)。事实的确如此,天底下的一切开关都应该具有且必须具有(至少)两种稳定的逻辑状态:开关处于打开状态;开关处于关闭状态。

不难理解,对于看得见摸得着的台灯开关等机械开关而言,它的状态跟开关所处的物理位置是息息相关的。那么,具体到 PSON 开关,它的开关状态的物理表现形式又是如何呢?

在数字电路中,电压/电平的高低显然对应不同的状态:即高电平(1)是一种状态,低电平(0)是一种状态。具体到 PSON 开关,我们能不能推测当 PSON 处于高电平时,PSON 开关处于一种稳定的逻辑状态(代表关闭);而 PSON 处于低电平时,PSON 开关处于另一种稳定的逻辑状态(代表打开),事实的确如此。

如果我们不对 PSON 做任何操作,令其保持高电平,那么 ATX 电源就始终处于待机(不输出其他直流输出,内置散热风扇不转)的关闭状态。我们需要对 PSON 进行何种操作才能够使 ATX 电源打开,进而输出其他直流输出呢?很简单,令 PSON 变为低电平即可。要将绿 5V 拉低,能且只能令绿 5V 对地短路。换句话说,要么直接用导体(如镊子、导线)将绿 5V 与输出端子中的接地脚(ATX 电源外壳也可)短接,要么像台式机主板正常启动时通过机箱面板上的开机按钮经开机三极管或其他门电路间接令 PSON 持续对地短路即可。

请读者亲手用镊子短接 PSON 与其旁边的地线脚(此操作不会损坏 ATX 电源),观察 ATX 电源中的内置散热风扇的状态变化。我们会发现,在用镊子短接 PSON 与地线脚的那一刻,ATX 电源中的内置散热风扇开始转动。内置散热风扇的转动,是表征 ATX 电源被打开的最直观的可视化证据。

接下来,我们还是如法炮制,继续通过使用万用表实测 ATX 电源输出端子的各个引脚的直流电压的方法,来归纳 ATX 电源的各路直流输出。

通过实测不难发现，此时，在橙色电缆的引脚上能够测到约 3.3V 的直流电压，在红色电缆的引脚上已经能够测到约 5V 的直流电压，在白色电缆的引脚上已经能够测到约 -5V 的直流电压，在黄色电缆的引脚上已经能够测到约 12V 直流电压，在蓝色电缆的引脚上已经能够测到 -12V 的直流电压。

特别注意，此时在灰色电缆引出至 ATX 电源输出端子的第 8 脚（PG，又常被称为“灰 8”）上，已经能够测到一个约 5V 的直流电压。复测 PSON，因为先前已经用镊子将 PSON 直接与地线短接，此时在 PSON 上实际测到的是地线的电压，0V。复测 5VSB，测得的电压和未短接 PSON 与地线之前的相同，仍然是 5V。

然后，在将镊子取下（即取消 PSON 与地线之间的短路关系）的同时，观察 ATX 电源内置散热风扇的状态变化。发现风扇开始减速并最终停转。复测橙色电缆、红色电缆、白色电缆、黄色电缆、蓝色电缆、灰色电缆直流电压，均为 0V。

通过对镊子短接前后 ATX 电源的所有输出以及内置散热风扇状态的变化进行归纳，不难得出如下两个结论。

（1）PSON 的确是控制 ATX 电源开启与关闭的开关。只不过它是一个逻辑电平（而非机械）开关。当 PSON 为 5V 的高电平时，PSON 处于关闭状态；当 PSON 为 0V 的低电平时，PSON 开关处于打开状态。

（2）PG 在有各组输出时（PSON 对地短路，ATX 电源打开）为接近 5V 的直流电压，在无各组输出时（PSON 浮空，ATX 电源待机）为 0V。PG 也的确是用来表征 ATX 电源是否已经正常输出各组直流电压的指示信号。

实际上，PG 是在各路直流输出达到某个具体的门限值之后才由低变高的，这中间有 300ms 左右的延时。此延时可能由延时电容实现，也可能由芯片内部的延时门电路实现决定，需要具体电源具体分析。PG 对主板而言是一个非常重要的开启及同步信号，其主板一侧的用途已经超出了本书的范围，不再赘述。

综上所述，当 ATX 电源接入交流市电 220V 后，首先产生 5VSB。随后，5VSB 通过特定电路为 PSON 提供 5V 的直流电压，一旦 PSON 得到了 5V 的直流电压，ATX 电源就进入待机状态，时刻准备着在 PSON 被拉低后开机。最后，输出  $\pm 12V$ 、 $\pm 5V$ 、3.3V 等各组直流电压。ATX 电源的输入与输出的全部时序如下。

- （1）接入交流市电 220V。
- （2）产生 5VSB。
- （3）产生 PSON。
- （4）PSON 被人为或主板拉低。
- （5）产生  $\pm 12V$ 、 $\pm 5V$ 、 $\pm 3.3V$  等。
- （6）延时 300ms 后发出高电平的 PG。

## 1.1 ATX 电源与开关电源的关系

ATX 电源是一种开关电源（与开关电源对应的是线性电源）。显然，ATX 电源只是众多开关电源中很小的一个子类——它专门被设计为为台式计算机主板供电。在现代社会中，开

开关电源被广泛使用（它包括但不仅限于 ATX 电源）。事实上，无论是在现代办公设备，还是在家用设备中，开关电源都无处不在。

作为线性电源的替代者，开关电源拥有许多线性电源无法比拟的优点。工作在（磁芯）截止区与饱和区之间的高频开关变压器具有低能耗的特点，这直接减轻了电源自身的散热压力，其体积也可小型化。

开关电源有 4 种结构（拓扑），如图 1-2 所示。

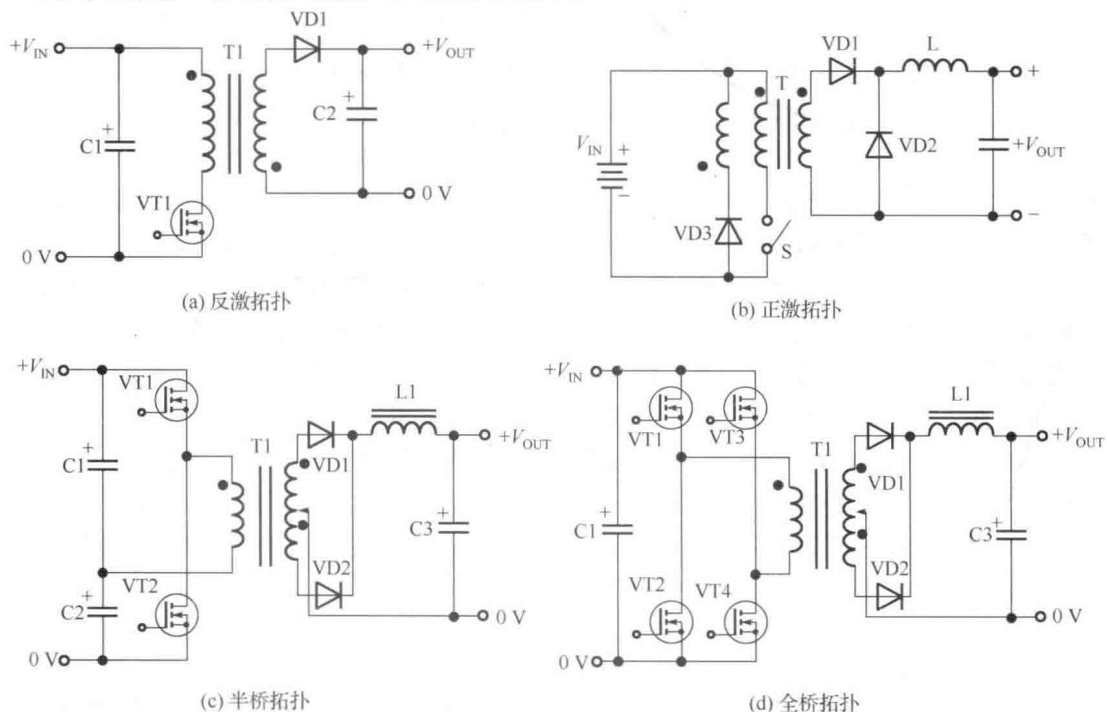


图 1-2 开关电源的 4 种结构

ATX 电源为一种开关电源，其中的“开关电源”主要有两层含义。

第一层含义指它是一种由开关控制输出的电源，PSON 就是 ATX 电源的开关。对比来说，的确有这样的电源，其输出是不经开关控制的。这样的电源既没有如台灯开关一样的机械开关，也没有如 ATX 电源 PSON 一样的逻辑电平开关，只要将电源接入交流市电 220V，就能够在其输出一侧得到正常的目标电压，例如，手机充电器、电动车充电器、LCD 液晶显示器内部电源板逆变器一体板上的低压电源。

第二层含义指它属于电源分类中的开关电源子类。这揭示了 ATX 在 AC/DC 的换能过程的根本电学原理，是最为科学的命名。在最典型的由 TL494+LM339 为核心的 ATX 电源中，其辅助电源部分属于反激拓扑，其主电源部分属于半桥拓扑。反激拓扑开关电源的输出功率在 0~150W 之间。正激拓扑开关电源的输出功率在 50~500W 之间。半桥拓扑开关电源的输出功率在 100~1000W 之间。全桥拓扑开关电源的输出功率在 500W 以上。

ATX 电源作为开关电源，其根本功能是完成 AC/DC 的电能转换。

交流市电 220V 首先经过交流输入及整流滤波电路转变为直流电能（整流后得到 310V 直流电压），这个直流电的电压会在开关管的控制下以脉冲直流电流的形式间断而又连续地流经开关变压器的初级绕组。

在脉冲直流电流流经开关变压器的初级绕组的过程中，开关管处于打开状态。这个过程就是交流市电 220V 的电能转化为磁场能并储存在开关变压器磁芯中的过程（磁芯充能）。接下来，开关变压器还应该通过其次级线圈，将磁芯中的磁场能传递出去（磁芯释放电能），经低压侧整流、滤波储能等过程后，最终输出到 ATX 电源的输出端子。

在整个能量转换的过程中，开关管的导通时间有一个上限，它并不会（也不能）无限制导通（更不用说始终处于短路的极限情况），其理由是显而易见的。对于开关变压器的磁芯而言，在开关管导通后，开关变压器的磁芯通过初级线圈流经的脉冲直流电进行充能，但磁芯所能容纳的磁场能也是有限度的。一旦超出了磁芯本身储能的能力，最直接的结果就是此刻的开关变压器的初级线圈对流经其自身的电流已经没有了阻碍的作用（此刻的初级线圈已经等价于普通直导线）。如果在此刻的临界状态下开关管无法被关闭（如开关管自身短路），就意味着着 310V 直流电压会经开关管及变压器的初级线圈后直接回到整流全桥的负极。这相当于用导线直接将整流全桥的正负极输出短路，后果不言自明。

实际上，ATX 电源会根据其输出端子处实际输出的直流电压的高低（反馈），主动地控制开关管导通一段时间后再去关闭开关管。我们可以把开关管从开始导通到被关闭之间的这段时间称为“开关管导通时间”，记为  $T_{ON}$ 。可见，“开关管导通时间”的时长必须是可控的。

可以想象，对于同一个 ATX 电源而言，在低负荷和高负荷时的开关管导通时间一定是不一样的。在由低负荷转为高负荷时，开关管应该导通更长的时间，以便将更多的电能输送至后级电路。否则，输入电能的速度跟不上负载消耗电能的速度，将会造成输出端子的实际输出电压有下降的趋势，反之亦然（实际输出电压升高）。这个过程其实就是 ATX 电源的稳压过程。

综上所述，开关电源中的开关管实际上是“先打开，再关闭，再打开，再关闭”的往复循环、周而复始的工作模式。这种工作模式被称为“振荡”。

我们在查阅开关电源有关的资料时常常可以见到“起振”的字样。在开关电源领域，起振的本质含义是指开关管已经处于“先打开，再关闭，再打开，再关闭”往复循环工作模式。开关管起振，是开关电源能够正常工作的必要条件。

我们还可以进一步把开关管从开始被关闭到下一次被打开之间的这段时间定义为“开关管关闭时间”，记为  $T_{OFF}$ 。

那么，在开关管的一个振荡周期中，所经历的时间总长应为  $T_{ON}+T_{OFF}$ 。开关管导通时间与整个周期  $T_{ON}+T_{OFF}$  的比值称为开关管的“占空比”。而所谓的脉宽调制（PWM），就是指通过具有 PWM 功能的芯片，主动调整  $T_{ON}$  的长短，以适应负载的变化。

对一个具体的 ATX 电源而言，开关管的振荡周期是相对固定的，它更多的是在设计阶段就已经被确定好了。在单位时间（1s）内的振荡次数，就是开关电源的频率。频率与振荡周期是互为倒数的关系。

ATX 电源主回路的它激振荡源的频率一般为几十千赫。对于单开关管的 ATX 电源而言，单开关管的振荡频率与它激振荡源的频率相同，对于双开关管（二者轮流交替导通）的 ATX 电源而言，双开关管中每一个开关管的振荡频率为它激振荡源频率的 1/2。ATX 电源的它激振荡源的频率参数的具体高低更多是属于电源设计人员需要考虑的范围，对于维修人员的意义不大。

在前面的内容中，我们已经初步介绍了 ATX 电源与开关电源之间的关系，接下来，我们介绍 ATX 电源的具体分类。相信对于从事或爱好电源维修的读者而言，“双管半桥”、“单管

正激”、“双管正激”、“主动 PFC”、“被动 PFC”、“同步整流”等专业术语并不陌生。其中的“双管半桥”、“单管正激”、“双管正激”这三个术语是属于开关电源领域的概念。“主动 PFC”、“被动 PFC”则是属于功率因数领域的概念。而“同步整流”则是属于整流领域的概念。“主动 PFC”、“被动 PFC”、“同步整流”三种技术，都是为开关电源服务的技术。

在开关电源（包括但不仅限于 ATX 电源）发展的历史过程中，人们一直在致力于开发更便宜、更稳定的开关电源。“双管半桥”拓扑的 ATX 电源是当前最便宜、最成熟的台式计算机电源，它至今仍占据着中低端 ATX 电源市场的不少份额。但是，随着板卡的发展，对 ATX 电源也提出了更高的换能要求。“双管半桥”拓扑的换能能力，已经逐渐跟不上板卡的耗能需求。因此，ATX 电源研发人员努力地完善“单管正激”和“双管正激”拓扑技术，在保证其稳定性的同时将其成本控制得更为合理，使其逐步取代“双管半桥”。

我们无法从“双管半桥”、“单管正激”、“双管正激”中选择一个所谓最好的 ATX 电源拓扑方案。这实际上是一个伪命题，一切都需要从实际需要出发。这是因为在具体选择 ATX 电源的拓扑结构时，要将负载的耗电需求与成本这两个因素综合起来考虑。对于小功率需要而言，最为成熟稳定的“双管半桥”拓扑是一个很好的选择。只有在中大功率需要的时候，才更倾向于选择“单管正激”或“双管正激”。最后，所谓的“正激”，将在 1.4 节中介绍这个概念。

## 1.2 ATX 电源电路板上的基本元件

请读者收集若干 ATX 电源实物，将壳体拆开后再对其内部的电路板详细观察并归纳。我们会发现 ATX 电源的电路板上使用了很多种封装形式的元件。这些元件有电阻、电容、电感、二极管、三极管、场效应管等。

笔者将几乎一切电路板都具有的这些元件称为“基本元件”。因为性能及成本的原因，ATX 电源使用的基本元件以直插式为主，贴片式为辅。本书将在第 3 章深入介绍其相关知识。

对基本元件的学习主要是需要掌握对它们的种类识别、标称值识别与测量、好坏判断等。基本元件虽然数量众多，但其原理和结构都相对简单，仅在使用万用表的情况下即可方便准确地判断其好坏。

## 1.3 ATX 电源电路板上的芯片

通过观察，除了能够发现 ATX 电源电路板上存在数量众多的基本元件之外，往往还具有若干芯片。从本质上说，芯片就是大量基本元件的有机组合。芯片厂商将成熟的具有特定功能的电路以集成电路的形式封装为芯片，这样既可以简化电路，又可以提高电路的可靠性。

芯片的功能是单一且明确的。芯片与其外围的基本元件一起，构成了 ATX 电路板上各个彼此相对独立又互相联系的电路。

并不是所有的元件都能够被方便地集成到芯片中，电感就是一个例子。

芯片作为集成电路，其内部集成的基本元件也会损坏（如静电击穿），这会导致其所在的电路失去本来的功能。这种损坏表现到芯片上，就是导致芯片的相关引脚/模块失去作用。此时，只能更换整个芯片。

每个芯片都对应有制造厂家编制的数据库。数据库就是芯片的说明书。数据库详细地说

明了芯片的功能定义、工作原理、工作时序、电气参数、外观尺寸、焊接工艺、储存条件等技术信息。有的数据表甚至还包含公版电路，是我们了解、掌握芯片所需要的最准确、最权威的技术资料。

<http://www.icpdf.com> 是一个可用于查找芯片数据表的网站。

总体来说，ATX 电源电路板所使用的芯片可按照其功能的区别分成四类。

- (1) 产生开关电源所必需的开关脉冲源（振荡源）的 PWM（Pulse Width Modulation，脉宽调制）芯片，如主电源部分的 TL494、KA7500 等。
- (2) 用于对两个输入电压信号进行比较运算的运算放大器，如 LM339 等。
- (3) 用于反馈及稳压控制的光电耦合器，如 PC817 等。
- (4) 用于监测输出电压及输出控制信号（PSON、PG）的保护芯片，如 WT7510 等。

## 1.4 ATX 电源主板上的变压器

打开 ATX 电源外壳之后，通过观察，除了能够发现 ATX 电源电路板上存在数量众多的基本元件及若干芯片外。最引人注目的就是外形与体积均与基本元件和芯片有显著不同的数个变压器。顾名思义，变压器在 ATX 进行 AC/DC 换能过程中起着变压的作用。

考虑到交流市电 220V 为较高的电压，而 ATX 电源的各组输出（最高为 12V，最低为 -12V），可以推定 ATX 电源所使用的变压器一定是一种降压变压器。

ATX 电源中的变压器并不是一种普通的变压器，而是开关变压器。与开关变压器相对的是交流变压器，本书不再赘述。

读者应当首先拆解若干数量的 ATX 电源实物，通过归纳后可以发现：在任何 ATX 电源电路板上都安装有 2~3 个变压器，它们大小各异，自然也应当具有不同的功能。其中最大的一个，本书称之为“主变压器”，其他变压器都是直接或间接为主变压器服务的。

总体来说，ATX 电源主变压器的性能与其长度（和高度）密切相关，如图 1-3 所示。

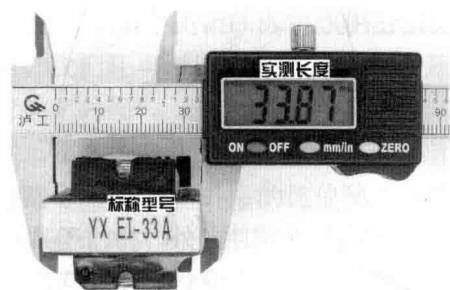


图 1-3 主变压器的长度

图 1-3 中的主开关变压器来自于一个单管正激拓扑的山寨开关电源。其型号标注为 EI-33A，其中的 33 表示其磁芯的长度为 33mm。既然变压器在其型号中常常包含磁芯以毫米记的长度数字，可见，变压器的长度数据应该可以用来总体衡量一个变压器的性能。

这其实是非常容易理解的。要理解这个问题，还是需要从变压器的功能（能量转换）本质出发。如果磁芯的长度大（总的体积与长度有相关性），就意味着在“电生磁”的过程中更大的磁芯可以容纳更多的磁场能。换个表达方式，即随着磁芯的增大，在单个振荡周期中，可以有更多电能经变压器转换为磁场能并继续向后级输送——变压器能量转换的能力得到了提高。而体现到最后的結果上，就是在 ATX 电源输出端子处能够输出更大的电能（电流）——整个电源的输出功率得到了提高。

这就是通过观察主变压器的外形尺寸就可以比较可靠地判断具体 ATX 电源真实输出功率的根本原因。无法想象，一个标称为 450W 输出功率的电源却使用了一个长度为 33mm 的主变压器，这是山寨电源的最常见的虚标造假手段。



变压器在 ATX 电源中起着承前启后的作用。从初级绕组输入的电能会转化为磁场能储存在磁芯中。储存在变压器磁芯中的磁场能需要在一个“合适”的时候经变压器的次级绕组输出至后级的整流电路。那么什么是“合适”的时候呢？我们通过现实生活中的例子来分析一下这个问题。

#### 例 1-1 水库蓄能发电

水库中蓄有一定的水后，就可以开始发电。而与此同时，上游的来水可以继续流入水库中积蓄起来。这意味着对于承上启下的水库而言，在有输入（上游来水）的同时也是有输出（发电）的。

#### 例 1-2 充电电池的充放电

当充电电池的电量耗光之后，需要充电。而只有充完电后，才能将其安装到设备中为设备提供正常工作的电能。这意味着对于承上启下的充电电池而言，在有输入（充电）的同时，是不能有输出（放电）的。读者可能要反问，那为什么很多使用电池的设备可以在充电的同时正常使用呢（如笔记本电脑）？这实际上是一个假象，因为此刻为设备提供正常工作电能的，是交流市电 220V，而非充电电池。

那么，开关变压器究竟是跟水库蓄能发电一样，可以在充能的同时经次级绕组输出电能，还是跟充电电池的充放电一样，在充能完成之后才能经次级绕组输出电能呢？答案是：都可以，只要避免开关变压器的磁芯过饱和即可。

对于在初级绕组充能的同时即通过次级绕组输出电能的变压器换能过程而言，称之为“正激”（类比为水库蓄能发电）。对于在初级绕组充能完毕之后再通过次级绕组输出电能的变压器换能过程而言，称之为“反激”（类比为充电电池先充电再放电）。

可见，“正激”和“反激”实际上并不是根据能量的传递方向（任何开关电源的方向都是固定的，从初级绕组传递至次级绕组）做出的区分标准，而是根据能量的传递时间做出的区分标准。因此，正激和反激在本质上是与能量储存、传递（释放）有关的时间概念。

对于“单管正激”和“双管正激”的 ATX 电源而言，其主开关变压器在初级绕组充能的同时，就已经开始通过次级绕组对后续的整流电路输出电能了。这就是“单管正激”和“双管正激”中“正激”的含义。

“反激”适合于功率较小的应用，而“正激”则更适合于功率较大的应用。在 ATX 电源中，辅助电源的功率较小，基本都采用“反激”，而主电源的功率较大，基本都使用“正激”。虽然在“双管半桥”拓扑中没有“正激”的字样，它实际上也是“正激”的一种。

常见主变压器的次级绕组在电路板一侧的焊盘（非引脚）数目具有“2+2+1”的结构。这是由主变压器的实际输出路数所决定的。

主变压器的输出路数是指其物理输出路数（次级绕组的数目），有几路输出就对应两倍的绕组数目。对于绝大多数 ATX 电源而言，ATX3.3V 实际上与 ATX5V 这两路低压输出共用主变压器的同一路物理输出（次级绕组），加上 ATX12V 对应的一路物理输出（次级绕组），主变压器实际上有两对（每路一对），共 4 个次级绕组。这 4 个次级绕组的另一端则并联在一起，成为 ATX 电源低压输出侧的地（这是 ATX 电源低压侧“输出地”的原始起点）。

有的主变压器的地以单独引出的粗电缆的形式（像一个小尾巴）出现，如图 1-4 所示。该小尾巴对应电路板上最大的一个焊孔，很容易通过肉眼分辨。

有的主变压器没有小尾巴，而是也把地做到了变压器底部的引脚上（通常是两个引脚，