

TURING

图灵电子与电气工程丛书

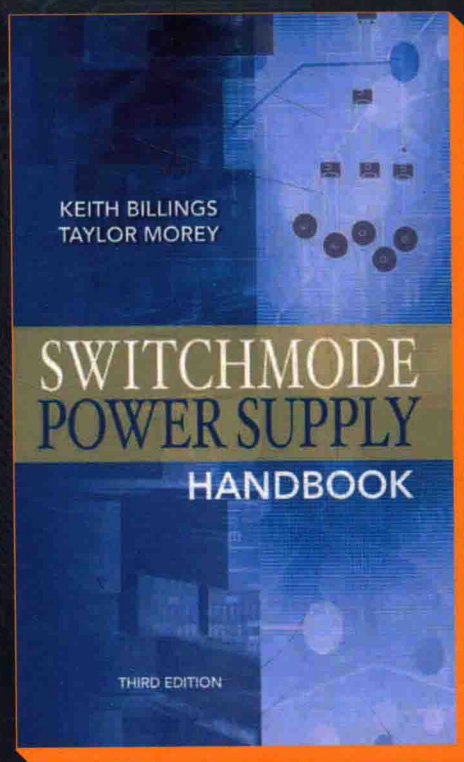
Mc  
Graw  
Hill  
Education

被工程师奉为业界标准的  
开关电源权威指南

# 精通开关电源

Switchmode Power Supply Handbook (第3版·修订版)  
Third Edition

[美] Keith Billings 著  
Taylor Morey  
张占松 汪仁煌 等译  
谢丽萍 王晓刚  
王晓刚 审校



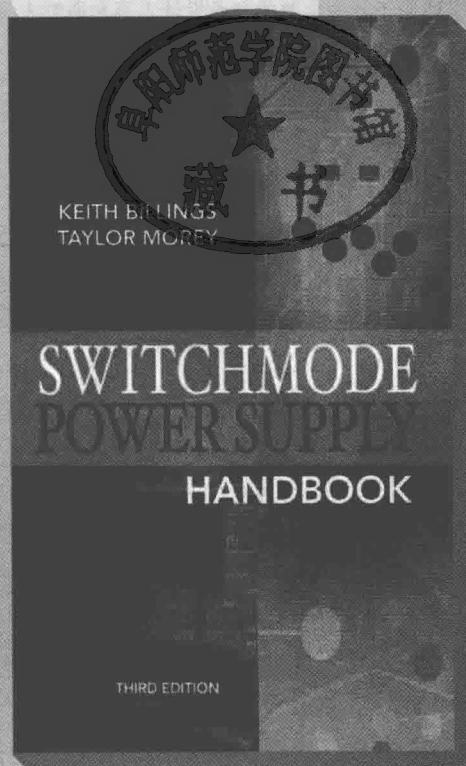
 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 精通开关电源

Switchmode Power Supply Handbook (第3版·修订版)  
Third Edition

[美] Keith Billings 著  
Taylor Morey  
张占松 汪仁煌 等译  
谢丽萍 王晓刚  
王晓刚 审校



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

精通开关电源:第3版/(美)凯斯·比林斯

(Keith Billings), (美)泰勒·莫瑞 (Taylor Morey) 著;  
张占松等译. --修订本. --北京:人民邮电出版社, 2017. 8

(图灵电子与电气工程丛书)

ISBN 978-7-115-45811-7

I. ①精… II. ①凯… ②泰… ③张… III. ①开关电源—设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 119747 号

## 内 容 提 要

本书是介绍开关电源技术的实用指导手册。全书分四部分,共70章。主要内容包括常用离线开关电源的功能与基本要求、设计原理与实践、实用设计和交流功率因数校正等。本书叙述简洁,提供了大量的线路图和波形图,并给出了不多见的诺模图,方便读者分析和设计。

本书适用于开关电源的专业设计人员和研究人员,也适用于电类学生、初级工程师和感兴趣的非专业人士。

---

◆ 著 [美] Keith Billings Taylor Morey  
译 张占松 汪仁煌 谢丽萍 王晓刚 等  
审 校 王晓刚  
责任编辑 朱 巍  
责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市中晟雅豪印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 39.25  
字数: 1029千字 2017年8月第1版  
印数: 1—3500册 2017年8月河北第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2017-2562号

---

定价: 119.00元

读者服务热线:(010)51095186 转 604 印装质量热线:(010)81055316

反盗版热线:(010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号

站在巨人的肩上  
Standing on Shoulders of Giants



iTuring.cn

站在巨人的肩上  
**Standing on Shoulders of Giants**



iTuring.cn

# 前 言

Keith Billings 在 20 多年前就意识到许多工程师希望出版一本开关电源方面的通用手册，于是编写了本书第 1 版。本书实用性强，通俗易懂，包含了当今许多常用的技术，同时也介绍了最新的发展动态。作者将以往学生和初级工程师在学习此门课程中最为关心的问题进行了综合，并根据自己在处理这些问题中积累的经验，通过一些简单易懂的设计实例，对该主题进行了最为直接的讨论，书中所列举的例子不需读者事先具备相关的知识。本书还详细介绍了绕线元件的设计，绕线元件直接关系到系统的性能，不过并不太容易理解。

在第 3 版中，作者继续采用前两版中广受欢迎的易于接受、非学术性、将简单理论和数学分析相结合的编写风格，为了简单起见，还在完全严格的书写方式上作出了取舍。因此，最新版理应再次得到包括学生、初级工程师、感兴趣的非专业使用者和专业电源工程师在内的广大读者的青睐。

新版既有简单的系统说明（包括典型的规格和性能参数），也有最终元件、散热以及电路设计和评估，还包括谐振与准谐振系统、高效率大容量移相调制变换器等新的内容。

同前两版一样，为了简化设计，本书在很多情况下使用了诺模图，其中很多方法是由作者本人在使用诺模图时改进的。一些更深层次的理论包含在附录中，想进一步深入了解的读者可以查阅附录和书后参考文献所列的一些优秀的专业图书和论文。

自 20 世纪 70 年代以来，开关电源应用设计从最初的被人们所忽视的“秘技”发展成了一项精确的工程科学。电子元件缩微化和太空探索的迅猛发展使得对小而高效的电源处理设备的需求不断增加。最近几年，这种需求已经引起了许多全球最卓越的电子工程师的关注。随着研究和发展的深入，现在已经出现了很多创新，拓扑也随之愈加复杂。

到目前为止，还没有哪个单一的“理想系统”能满足所有的需要。每一种拓扑都会有相应的优缺点，对于特定的应用，为了确定其最优的方法，电源设计者需要具备相应的技能和经验，能够找出最合适的拓扑结构的规格需求。

现代开关电源在更复杂的处理系统中只占相当小的部分，因此，除了提供电器元件所必需的电压和电流外，开关电源还提供了其他一些辅助的功能，例如电源良好信号（显示当前输出均在其指定的范围内）、电源故障报警信号（提供高级的电源故障报警）和温度过高时的保护功能（当系统温度过高时，此功能将会停止系统的工作进程以避免造成损坏）。此外，开关电源能根据外部信号进行开关转换。限压和限流电路将会保护电源，使其避免在故障条件下工作。对于敏感负载要使用过压保护，在某些特殊的应用中，要使开关频率与外部时钟频率同步。因此，电源设计人员必须理解并有能力满足许多相关的要求。

为了更加有效地利用或规定一个现代电源处理系统，用户应熟悉一些可用方法的优缺点。根据这些信息，系统工程师规定电源的规格要求，以便设计出能满足要求而且最具经济效益和可靠性的系统。通常，规定中的一个很小的变化或者电源分配系统的重新安排都会使

得电源设计者设计出更可靠和更经济的系统，以满足用户的需求，因此为了得到最经济、最可靠的设计方案，电源系统的规格要求应由电源设计人员和用户相互交流共同规定。

很多情况下，电源规格要求中有一些生硬的且通常是人为规定的适用范围和使用局限性。这些不切实际的规定导致过于严格死板的规格和随之而来的设计过于复杂的电源。这会陆续带来高成本、高复杂性和低可靠性等一系列问题。用户要甩开这些不切实际的规格，真正理解开关电源的优缺点，才能在依照电源要求去规定和获取可靠性强、经济效益高的解决方案时更加得心应手。

本书分为如下 4 个部分。

第一部分简明地讨论了对于直接工作在交流电源上的任何电源现在已经普遍需要满足的要求，详细介绍了一些常用方法的具体内容，并结合典型的应用实例重点强调了这些方法各自的优缺点。最新版扩展了第 23 章，增加的内容为电流型自激振荡谐振式正弦波逆变器，适合为大型系统提供相互隔离的多路辅助电源。线性预调节器能提供超低噪声半稳定输出，还具有限流功能，为了实现低系统噪声，采用了正弦波功率分布。

第二部分涉及在一些著名变换器电路中功率器件以及变压器设计的选用问题。主要为了帮助工程师在最短时间内，高效地对传统原型进行研究。本部分所提供的例子、信息和设计理论通俗易懂，读者在掌握这些内容后，就具有了对更实用的开关电源进行初始设计的能力。然而，如果想达到真正的最优设计，读者还必须掌握第三部分中更多的专业知识以及书后参考文献中的相关知识。

第三部分介绍开关系统更通用的工程设计要求，例如变压器设计、扼流圈设计、输入滤波器、射频干扰控制、缓冲电路及热设计等。

第四部分介绍了几个精选的设计方案，电源设计专家也许会更有兴趣。

第一个方案是有源功率因数校正系统的设计。供电行业越来越关注由未校正的电器设备（尤其是荧光照用镇流器）所带来的不断增加的谐波分量。有源功率因数校正对于电源设计者来说仍然是一项比较新的任务。由于升压拓扑结构的动态特性和它在高低频率上的要求，其波形很难显示，且设计功率电感也是相当困难的一项任务。这部分内容有助于帮助读者揭开这一领域的神秘面纱。

在绝大多数的开关电源里，绕线元件控制着整个系统的效率和性质。只有输入输出绕组耦合较好且其漏电感较小，开关元件的工作效率才能高。电源设计者不但要把握好绕线元件，还需要具备相当的知识和技巧，才能够解决实际工程方面的问题。因此，作者集中地论述了绕线元件，且提供了许多可行的例子。如果想在这一关键领域里有所作为，读者应该参考第三部分中所罗列的较为严格的变压器设计方法和书后参考文献中的相关知识。

谐振和准谐振变换器的进展使这种有前景的技术受到越来越多的关注。本书通过谐振式荧光灯镇流器的设计全面审视了全谐振技术的优缺点。其原理适用于多种其他全谐振系统。

接着，为了说明准谐振系统的原理，介绍了一台大功率全桥变换器的设计过程，准谐振技术和移相调制技术用于其中以实现超高频率和低噪声。该部分包括变换器在一个开关周期内每个工作阶段的逐步分析。

在第 4 章和第 5 章, Taylor Morey 将介绍用 MOSFET 构成的电流型自激振荡全谐振逆变器。这种电路的优点是具有接近理想的零电压转换特性, 输出无谐波的高纯度波形。他还将介绍用运算跨导放大器实现的变频正弦波振荡器, 用手动调节或电扫描的方法可以使频率在毫赫兹到几十万赫兹范围内变化。

最近几年这门学科迅猛发展, 区区一本书难以涵盖所有的内容。读者可以参阅参考文献中列出的相关书籍和论文, 了解超出本书范围的内容以拓展知识面。希望这本最新版至少可以部分地充当开关电源领域的通用手册。

## 致谢

没有人是孤立存在的。我们的进步不仅仅是自己努力的结果, 也是我们利用周围人的成果和站在前人肩上的结果。为此本书中列出了许多参考文献, 我要感谢它们的作者。在这里我要强调的是, 还有许许多多的参考文献应该列举出来, 但查询知识点的出处确实是一件艰巨的工作, 对此遗漏我深表歉意。

我要感谢对本书第 3 版做出贡献的人员, 特别感谢我工程上的同事和合著者 Taylor Morey, 他用了大量的时间仔细校对了新稿和其中的计算, 并且撰写了新版第四部分的第 4 章和第 5 章。感谢 Unitrode 公司和 Lloyd H. Dixon, Jr., 允许我们使用他在“右半平面零点”方面的研究成果。感谢德州仪器公司允许我们使用其应用资料。感谢 McGraw-Hill 公司的编辑和员工, 他们为本书的出版做了大量的工作。

Keith Billings



# 本书使用的单位、符号、量纲及缩略语

## 单位、符号和量纲

本书使用的单位和符号一般都与国际单位制 (SI) 一致。但是, 为了得到简单的结果, 公式的量纲常作调整, 以方便使用十进制倍数与分数词头 (所选量纲见下面的每一个公式)。

热学方面的计算使用英制, 因为大多数热学数据仍用这种形式。长度的量度用英寸 ( $1\text{in}=2.54\text{cm}$ ), 温度用摄氏温标, 但是辐射热计算用开尔文绝对温标。

磁学方面的图和公式使用常用的 CGS (厘米·克·秒) 单位。许多制造商仍然提供 CGS 单位的资料及信息。例如, 磁场强度单位为 Oe 而非 A/m ( $1\text{A/m}=12.57\times 10^{-3}\text{Oe}$ )。

用  $\text{mW/g}$  表示磁心损耗, 用“峰值磁通密度  $\hat{B}$ ”作为参量是业界标准的做法 (因为这些图通常是为推挽变压器开发的, 并假设磁通密度在零线上对称摆动)。为了防止混淆, 本书在考虑非对称磁通激励时, “峰值磁通密度  $\hat{B}$ ”仅用来指示峰值。另一符号“磁通密度摆幅  $\Delta B$ ”用来指示总的峰峰激励值。

基本国际单位制

量	量的符号	单位名称	单位符号
质量	$m$	千克	kg
长度	$l$	米	m
时间	$t$	秒	s
电流	$I$	安[培]	A
温度	$T$	开[尔文]	K

所用的 SI 词头

符号前缀	前缀名称	所乘的权值
M	兆	$10^6$
k	千	$10^3$
m	毫	$10^{-3}$
$\mu$	微	$10^{-6}$
n	纳	$10^{-9}$
p	皮	$10^{-12}$

物理量的符号

量	量的符号	单位名称	单位符号	计算公式
<b>电的物理量</b>				
电容	$C$	法[拉]	F	$S_s$
电荷	$Q$	库[仑]	C	$A_s$
电流	$I$	安[培]	A	$V/\Omega$
电能	$U$	焦[耳]	J	$W_s$
阻抗	$Z$	欧[姆]	$\Omega$	—
自感	$L$	亨[利]	H	$Wb/A$

(续)

量	量的符号	单位名称	单位符号	计算公式
电位差	$V$	伏[特]	V	$Wb/s$
有功功率	$P$	瓦[特]	W	$VI \cos\theta$
视在功率	$S$	伏安	VA	$VA$
电抗	$X$	欧[姆]	$\Omega$	—
电阻	$R$	欧[姆]	$\Omega$	$V/A$
体积电阻率	$\rho$	欧姆立方厘米	$\Omega\text{-cm}$	$\frac{R \cdot A}{l}$
<b>磁的物理量</b>				
场强	$H$	安培每米	A/	—
场强 (CGS)	$H$	奥[斯特]	$\frac{m}{Oe}$	$4\pi \times 10^{-3} A/m$
磁通	$\Phi$	韦伯	Wb	$Vs$
磁通密度	$B$	特[斯拉]	T	$Wb/s$
磁导率	$\mu$	亨利每米	H/m	$Vs/Am$
<b>其他</b>				
角速度	$\omega$	弧度每秒	rad/s	$2\pi f$
面积	$A$	平方厘米	$\text{cm}^2$	—
频率	$f$	赫[兹]	Hz	$s^{-1}$
长度	$l$	厘米	cm	—
趋肤深度	$\Delta$	毫米	mm	—
温度	$T$	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	—
绝对温度	$T$	开[尔文]	K	—
时间	$t$	秒	s	—
绕组高度	$\varphi$	毫米	mm	—

## 本书所用的变量、参数和单位

变 量	参 数	单 位
$A$	面积	$\text{cm}^2$
$A$	增益(无反馈)	dB
$A'$	增益(带反馈)	dB
$A_c$	变压器铁心中心柱横截面积	$\text{cm}^2$
$A_{cp}$	(磁心)中心柱面积	$\text{cm}^2$
$A_e$	(磁心)有效截面积	$\text{cm}^2$
$A_g$	(磁心)气隙面积	$\text{cm}^2$
$A_L$	电感系数(单匝电感)	nH
$A_m$	最小磁心面积	$\text{cm}^2$
$A_n$	衰减系数	—
$A_p$	磁极(磁心)中心柱截面积	$\text{cm}^2$
$A_p'$	原边绕组截面积	$\text{cm}^2$
$AP$	磁心面积乘积( $A_w A_e$ )	$\text{cm}^4$
$AP_e$	有效面积乘积( $A_{wb} A_e$ )	$\text{cm}^4$
$A_r$	(骨(绕线)架)阻抗系数或衰减系数	—
$A_w$	(磁心)绕组窗口面积	$\text{cm}^2$
$A_{wb}$	(骨(绕线)架)绕组窗口面积	$\text{cm}^2$
$A_{we}$	绕组中铜有效面积(总值)	$\text{cm}^2$
$A_{wp}$	原边绕组窗口面积	$\text{cm}^2$
$A_s$	表皮面积	$\text{cm}^2$
$A_x$	铜面积(对于单支铜线)	$\text{cm}^2$
$B$	磁通密度	mT

(续)

变 量	参 数	单 位
$\hat{B}$	峰值磁通密度	mT
$\beta$	反馈系数	—
$\Delta B$	磁通密度 $B$ 的增量	mT
$\Delta B_{ac}$	磁通密度摆幅值(峰峰值)	mT
$B_{dc}$	稳态磁通密度( $H_{dc}$ 引起)	mT
$B_{opt}$	最佳磁通密度摆幅值(最小损耗)	mT
$B_r$	剩余磁通密度	mT
$B_s$	饱和磁通密度	mT
$B_w$	磁通密度的峰峰值(工作中)	mT
$b_w$	骨(绕线)架上绕组有效宽度	mm
$C$	电容	$\mu\text{F}$
$C_c$	漏(寄生)电容	pF
cfm	(空气流动)立方英尺每秒	cfm
$C_h$	热(储存)容量	$\text{Ws/in}^3/^\circ\text{C}$
$C_k$	极间电容	pF
$C_p$	寄生电容	pF
$D$	占空比( $t_{on}/t_p$ )	
$d'$	导通时间与关断时间的比率( $t_{on}/t_{off}$ )	
$D'$	$D'(1-D)$ = “关断”时间	
dB	对数率(电压 $20 \lg V_1/V_2$ 或功率 $10 \lg P_1/P_2$ )	dB
dB <sub>m</sub>	1mW 时的功率对数率( $10 \lg P_1/1\text{mW}$ )	dB
$di/dt$	电流对时间的变化率	A/s
$di_p/dt$	原边电流对时间的变化率	A/s
$di_s/dt$	副边电流对时间的变化率	A/s
$dv/dt$	电压对时间的变化率	V/s
$d_w$	导线直径	mm
$e$	感生电动势(矢量)	V
$e'$	表面发射系数	
$ e $	emf(仅指 emf 幅值)	V
$U$	电能	J
$f$	频率	Hz
$F_1$	层间系数	
$F_r$	绕组的 AC/DC 电阻比率	
$H$	磁场强度	Oe
$\hat{H}$	有效磁场强度峰值	Oe
$h$	导体厚度(窄条形)或导线直径	mm
$H_{ac}$	磁场强度摆幅	Oe
$H_{dc}$	直流电流产生的磁场强度	Oe
$H_{opt}$	磁场强度最佳值	Oe
$H_s$	磁场强度饱和值	Oe
$\Delta H$	磁场强度的小增量	Oe
$I$	直流电流(DC)	A
$I$	交流电流均方根值(AC)	A
$\hat{I}$	峰值电流	A
$I_{ave}$	某确定期间电流的平均密度	A
$I_{cp}$	集电极峰值电流	A
$I_{dc}$	(相关变化)直流电流	A
$I_e$	实际输入电流	A

(续)

变 量	参 数	单 位
$I_i$	谐波干扰电流	A
$I_L$	电感或扼流圈电流(平均值)	A
$i_L$	交流电感器电流	A
$I_{L(p-p)}$	电感或扼流圈纹波电流峰峰值	A
$I_{max}$	电流最大值	A
$I_{mean}$	电流平均值	A
$I_{min}$	最小电流值	A
$I_p$	原边电流值(变压器)	A
$I_s$	副边电流(或缓冲器电流)	A
$\Delta I$	电流小增量	A
$I^2 R$	有功损耗	W
$J$	(导线中的)电流密度	A/cm <sup>2</sup>
$-j\omega C$	容抗	$\Omega$
$j\omega L$	电抗	$\Omega$
$K'$	铜的有效利用系数(拓扑系数)	
$K_m$	物质常数	
$K_p$	原边面积系数	
$K_i$	原边电流均方根值系数	
$K_u$	(导线)填充系数	%
$K_{ub}$	骨(绕线)架利用系数	
$L$	电感(绕制线圈自感)	H
$l$	长度(磁路长度)	cm
$l_e$	有效(磁)路长度	cm
$l_g$	(磁心)气隙总长度	cm
$L_{LP}$	原边漏电感	$\mu H$
$L_{Ls}$	副边漏电感	$\mu H$
$L_{LT}$	总的漏电感(变压器)	$\mu H$
$l_m$	导线或磁路(磁心)平均长度	cm
$L_p$	原边电感	mH
$L_s$	副边电感	mH
$mmf$	磁动势(磁势安匝值)	At
$N$	匝数	
$N_{fb}$	反馈绕组	
$N_{min}$	最小匝数(防止磁通饱和)	
$N_{mopp}$	峰峰工作时的最小原边匝数	
$N_p$	原边匝数(变压器)	
$N_s$	副边匝数(变压器)	
$N_v$	每伏匝数(变压器上)	T/V
$N_w$	每层匝数(或导线)	
$P$	功率	W
$p$	周期(时间)	$\mu s$
$P_c$	磁心的功率损耗	W
$P_f$	功率因数(每伏安有功功率比)	—
$P_{in}$	有效输入功率( $VI\cos\theta$ , 或 $VA \times P_f$ , 热效应)	W
$P_{id}$	内部损耗总值	W
$P_j$	结点热耗散, J/s	W
$P_{out}$	有效输出功率( $VI\cos\theta$ , 或 $VA \times P_f$ , 热效应)	W
$P_{Q1}$	晶体管 Q1 的功率损耗	W

(续)

变 量	参 数	单 位
$P_i$	总内部损耗	W
$P_v/N$	原边每匝电压	V/T
$P_w$	绕组铜损耗	W
$Q$	热流动率(导通瓦特数或散热器 J/s/in <sup>2</sup> )W	W J/s
$R$	电阻	$\Omega$
$r$	(导线)半径	mm
$R_{Cu}$	在指定温度下绕制线圈的直流电阻	$\Omega$
$R_e$	变压器绕组有效直流电阻	$\Omega$
$R_{e,h}$	外壳-散热器的热阻	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{e,a}$	散热器-空气热阻	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{f,c}$	结-外壳,热阻	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_o$	总热阻	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_s$	主电源或网络有效电阻值	$\Omega$
$R_{sf}$	有效源电阻( $R_{sf}=R_s \times W_{out}$ )	$\Omega$
$RT$	电阻温度系数(铜在 0 $^{\circ}\text{C}$ 时为 0.00393)	$\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$
$RT_{cm}$	在温度 $T^{\circ}\text{C}$ 时的导线电阻	$\Omega/\text{cm}$
$R_{\theta}$	热阻(热通道)	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta ja}$	热点至空气的热阻	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_w$	在频率 $f$ 下绕制线圈的有效电阻	$\Omega$
$R_x$	线架的电阻系数	
$S_f$	标尺系数	
$T$	摄氏温度	$^{\circ}\text{C}$
$t$	时间	s
$T_{amb}$	(空气)环境温度	$^{\circ}\text{C}$
$T_c$	铜(绕组)温度	$^{\circ}\text{C}$
$t_d$	滞后周期时间	s
$T_{ds}$	(二极管)表面温度	$^{\circ}\text{C}$
$t_f$	下降时间(电压或电流下降所需时间)	$\mu\text{s}$
$T_h$	热交换器表面温度	$^{\circ}\text{C}$
$t_p$	周期时间(即单循环持续时间)	$\mu\text{s}$
$t_{off}$	非导通关断时间	$\mu\text{s}$
$t_{on}$	导通时间	$\mu\text{s}$
$\Delta T$	温度小变化量	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta T_a$	小量温升(相对于环境)	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta t$	时间小增量	$\mu\text{s}$
$T_r$	温升(相对于环境)	$^{\circ}\text{C}$
VA	伏安乘积(视在功率)	VA
$V_c$	晶体管集电极电压	V
$V_{cc}$	线电压(伏特)	V
$V_{ce}$	集电极-发射极电压	V
$V_{ceo}$	集电极-发射极击穿电压(基极开路)	V
$V_{cer}$	集电极到发射极击穿电压(基极-发射极带规定的电阻)	V
$V_{ces}$	集电极-发射极击穿电压(基极反偏)	V
$V_c$	磁心有效体积	cm <sup>3</sup>
$V_{fb}$	反馈电压	V
$V_h$	端电压(调整器输入端电压)	V
$V_{hi}$	谐波干扰电压,有效值	V <sub>rms</sub>

(续)

变 量	参 数	单 位
$V_{in}$	输入电压	V
$V_t$	电感两端电压	V
$V_m$	平均电压	V
$V_n$	额定(额定平均值)电压	V
$V/N$	每匝电压	V/T
$V_o$	纹波电压	V
$V_{out}$	输出电压	V
$V_p$	峰值电压或原边电压	V
$V_{p-p}$	纹波电压,峰峰值	V
$V_{ref}$	参考电压	V
$V_{rms}$	电压有效值	Vrms
$V_{sat}$	饱和电压	V
$X_c$	容抗	$\Omega$
$X_L$	感抗	$\Omega$
$\rho$	铜体积电阻率(0°C时为 $1.588 \mu\Omega\text{-cm}$ )	$\mu\Omega\text{-cm}$
$\rho_{tc}$	铜在 $t_c$ °C时电阻率	$\mu\Omega\text{-cm}$
$\mu_0$	磁场常数( $4\pi 10^{-7} \text{H/m}$ )	Vs/Am
$\mu_r$	(磁心)相对磁导率	
$\mu_x$	有效磁导率(引入气隙后)	
$\eta$	效率(输出功率/输入功率 $\times 100\%$ )	%
$\Delta$	增量,穿透厚度	mm
$\Delta\Phi$	总磁通增量	$\Phi$
$\varphi$	有效导体高(长)度	mm
$\Phi$	总磁通	Vs
$\omega$	角速度( $\omega=2\pi f$ )	rad/s
0V	零电压参考线(公共输出端)	V
1-D	1-占空比(“关断”期间)	s
$ x $	函数(x)幅值	

## 缩略语

ac	alternating current, 交流电
AIEE	American Institute of Electrical Engineers, 美国电气工程师学会
AWG	American Wire Gauge, 美国线规
B/H	(curve) hysteresis loop of magnetic material, 磁材料的磁滞回线
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, 国际无线电干扰特别委员会
CSA	Canadian Standards Association, 加拿大标准协会
dB	decibels (logarithmic ratio of power or voltage), 分贝 (功率或电压对数比率)
DC	direct (non-varying) current or voltage, 直流(不变)电流或电压
DCCT	direct-current current transformers, 直流电流变换器
e. g.	exemplia gratis, 例如
emf	electromotive force, 电动势
EMI	electromagnetic interference, 电磁干扰
ESL	effective series inductance, 有效串联电感

ESR	effective series resistance, 有效串联电阻
FCC	Federal Communications Commission, 美国联邦通信委员会
(MOS) FET	(metal oxide silicon) field-effect transistor, (金属氧化物半导体) 场效应晶体管
HCR	heavily cold-reduced, 深度降温
HRC	high rupture capacity, 高遮断能力
IC	integrated circuit, 集成电路
IEC	International Electrotechnical Commission, 国际电工委员会
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气与电子工程师学会
LC	(filter) a low-pass filter consisting of a series inductor and shunt capacitor, (滤波器) 由一个串联电感和并联电容组成的低通滤波器
LED	light-emitting diode, 发光二极管
LISN	line impedance stabilization network, 线性阻抗稳定网络
mmf	magnetomotive force (magnetic potential, ampere-turns), 磁动势 (安匝)
MLT	mean length (of wire) per turn, 每匝 (导线) 平均长度
MOV	metal oxide varistor, 金属氧化物压敏电阻
MPP	molybdenum Permalloy powder, 含钼镍铁导磁合金粉
MTBF	mean time before/between failure(s), 故障之前的平均时间/故障之间的无故障平均时间
NTC	negative temperature coefficient, 负温度系数
OEM	original equipment manufacturer, 原始设备制造商
"off"	non-conducting (non-working) state of device (circuit), 器件 (电路) 非导通 (非工作) 状态
"on"	conducting (working) state of device (circuit), 器件 (电路) 导通 (工作) 状态
OVP	overvoltage protection (circuit), 过压保护 (电路)
PARD	periodic and random deviations (see glossary), 周期和随机飘移, 参见电源常用术语
pcb	printed circuit board, 印制电路板
PFC	power factor correction, 功率因数校正
PFS	power failure sense/signal, 功率故障感测/信号
p-p	peak-to-peak value (ripple voltage/current), 峰峰值 (纹波电压/电流)
PTFE	polytetrafluoroethylene, 聚四氟乙烯
PVC	polyvinyl chloride, 多元氯乙烯
PWM	pulse-width modulation, 脉宽调制
RF	radio frequency, 射频
RFI	radio-frequency interference, 射频干扰

---

rms	root mean square, 有效值
RHP	right-half-plane (zero), a zero located in the right half of the complex $s$ -plane, 右半平面零点, 零点在复平面 $s$ 的右半平面
+s	positive remote sensing (terminal, line), 正极性远程信号 (端, 线)
-s	negative remote sensing (terminal, line), 负极性远程信号 (端, 线)
SCR	silicon controlled rectifier, (晶闸管) 可控硅整流器
SMPS	switchmode power supply, 开关电源
SOA	safe operating area, 安全工作区域
SR	saturable reactor, 可饱和电抗器, 参见电源常用术语
TTL	transistor-transistor logic, 晶体管-晶体管逻辑
UL	Underwriters' Laboratories, 美国保险商实验室
UPS	uninterruptible power supply, 不间断电源
UVP	vunder voltage protection (circuit), 欠压保护 (电路)
VA	volt amps ( product; apparent power), 伏安值 (乘积, 视在功率)
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker, 德国电气工程师协会



# 目 录

## 第一部分 常用离线开关电源的功能和基本要求

第 1 章 基本要求概述	1
1.1 导论	1
1.2 输入瞬变电压保护	1
1.3 电磁兼容性	2
1.4 差模噪声	2
1.5 共模噪声	2
1.6 静电屏蔽	2
1.7 输入熔断器的选择	2
1.8 交流电整流与电容输入滤波器	3
1.9 浪涌限制	3
1.10 启动方法	4
1.11 软启动	4
1.12 防止启动过电压	4
1.13 输出过电压保护	4
1.14 输出欠电压保护	5
1.15 过载保护(输入功率限制)	5
1.16 输出限流	5
1.17 高压双极型晶体管基极驱动要求	5
1.18 比例驱动电路	5
1.19 抗饱和技术	5
1.20 缓冲器网络	6
1.21 直通	6
1.22 输出滤波,共模噪声和输入-输出隔离	6
1.23 供电故障信号	6
1.24 供电正常信号	7
1.25 双输入电压供电运行方式	7
1.26 供电维持时间	7
1.27 同步	8
1.28 外部禁止方式	8
1.29 强制均流	8
1.30 远程取样	8
1.31 P 端连接	9
1.32 低压禁止	9

1.33 电压和电流的限制值调节	9
1.34 考虑安全标准要求	10
第 2 章 交流电力线的浪涌保护	11
2.1 导论	11
2.2 位置类别	11
2.3 浪涌发生的概率	12
2.4 浪涌电压波形	13
2.5 瞬变抑制器件	14
2.6 金属氧化物压敏电阻	14
2.7 瞬变保护二极管	15
2.8 充气浪涌放电器	16
2.9 交流滤波器和瞬变抑制器的组合使用	17
2.10 A 类别瞬变抑制滤波器	18
2.11 B 类别瞬变抑制滤波器	18
2.12 完全瞬变保护的状况	19
2.13 接地电压的电应力原因	20
2.14 习题	20
第 3 章 开关电源的电磁干扰	21
3.1 导论	21
3.2 EMI/RFI 传播模式	21
3.3 输电线传导型干扰	21
3.4 安全标准(接地电流)	23
3.5 输电线滤波器	23
3.6 在干扰源抑制 EMI	24
3.7 实例	26
3.8 线路阻抗稳定网络	27
3.9 线路滤波器设计	27
3.10 共模线路滤波电感	28
3.11 共模线路滤波电感的设计实例	29
3.12 串模电感	29
3.13 习题	29
第 4 章 静电屏蔽	31
4.1 导论	31
4.2 应用于开关设备的静电屏蔽	31
4.3 变压器的静电屏蔽和安全屏蔽	32
4.4 输出元件上的静电屏蔽	32
4.5 减小有气隙变压器磁心的	