

电子工程师全彩图解丛书

用生动的语言讲解枯燥的电子技术
带你走进一个别样的电子世界



全彩图解

电子工程师 应用手册

 张兴伟 编著



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>

电子工程师全彩图解丛书

全彩图解电子工程师应用手册

张兴伟 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

作者通过戏说和演绎,讲解枯燥的理论和电路,带你走进一个别样的电子世界。

全书共分9章,分别介绍了三极管放大电路的基础知识,三极管放大电路的设计与检修知识,多级放大电路、放大电路的频率响应,以及场效应管电路、功率放大电路、差分电路、运算放大电路、负反馈、振荡器与直流电源的相关知识。本书结合实际,利用丰富的图例对各知识点作了深入浅出的叙述,形象生动,以使读者能尽快掌握各相关知识点。

本书既适用于已有电子基本知识的电子技术的初学者,也适用于各电子专业的学生及广大电子爱好者。

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

全彩图解电子工程师应用手册 / 张兴伟编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

(电子工程师全彩图解丛书)

ISBN 978-7-121-30223-7

I . ①全… II . ①张… III . ①电子技术—图解 IV . ①TN-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第258345号

策划编辑: 张楠

责任编辑: 韩奇桅

印刷: 北京天宇星印刷厂

装订: 北京天宇星印刷厂

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: 26.25 字数: 705千字

版次: 2017年1月第1版

印次: 2017年1月第1次印刷

定 价: 99.00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 zltz@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) 88254579。



前言

■ 在从事电气、电子技术工作前，适当的学习是必需的。有一句话说得很好：相对于因无知所付出的代价，教育学习的成本实在是微不足道。

■ 电子工程、电气工程作业的实践性非常强，对从业人员动手能力的要求也非常高。而技术人员的动手能力与其所掌握的电路知识紧密相关。

■ 在从事电气、电子技术工作前，适当的学习是必需的。有一句话说得很好：相对于因无知所付出的代价，教育学习的成本实在是微不足道。

■ 通过绪论，对电子技术学习与本书内容有一个初步的了解。

本套丛书共两册。阅读本书需要你有一定的电子基础知识，若你是初学者，建议你先看另一本——《全彩图解电子工程师入门手册》。



电子工程、电气工程作业的实践性非常强，对从业人员动手能力的要求也非常高。而技术人员的动手能力与其所掌握的电路知识紧密相关。学习电子技术如果仅仅是为了获得一些简单的维修技能，那很容易，选择基本经验型的维修类书籍，找机会多实践即可。但如果想真正深入学习电子技术而不仅仅是一些简单的技能，就必须学习相关的电子技术理论。参与本书编写的人员有：张兴伟、钟云、郭小军、张素蓉、林庆位、钟晓、张菊慧、钟钦、张维荣、夏倩、康宇涛、康锦涛、夏菁、钟俏、康贤辉。

在开始之前，我想你应问问自己：你为什么想学习电子技术？通过学习，你希望获得什么样的知识或技能？

你想知道更多吗？看书吧，朋友！



谁可以使用本书

本书内容深入浅出、图例丰富、生动形象，非常适合**各类初学电子技术的人**，包括**自学者与相关专业的学生**，对**广大电子爱好者**也不无裨益。本书内容是丰富而实际的，它能迅速提升初学者的电子技能，对于电子相关专业的学生、广大电子爱好者也是不错的参考资料。

本书可使您攀登新的高峰



您会发现这本书是易学的、有用的。

使用这本书需要你基本的电子知识，至少应了解电阻、电容与电感的基本特性；了解串联电路、并联电路的基本概念与识别分析方法；了解耦合、旁路、滤波等基本概念；有三极管电路的基本知识。

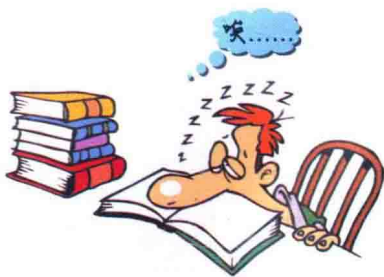
若你对以上所述的电子知识较为生疏，建议你先阅读本套丛书的另一册——《全彩图解电子工程师入门手册》。



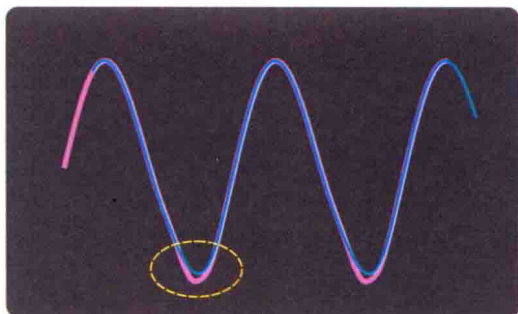
本书有什么特点

市面上关于电子技术的好教材很多，但大都依赖于严格的数学推导。无庸讳言，这对于大多数人，特别是对于初学者、自学者来说，是有相当大的难度的。

虽然本书内容比丛书的另一册——《全彩图解电子工程师入门手册》的内容深入，但本书仍是一本理论与实际并重的基础教材。但需要了解的是，基础的教材并不是低级的教材，良好的基础才是深入实际之本。一开始就直奔高深的理论是不切实际的，没有扎实的基础，只会使自己中途败下阵来。



本书着重于介绍模拟电子技术基础，目的在于使读者比较快速地入门，使读者初步掌握模拟电子电路的基本理论、基本知识 with 基本技能。



● 两个信号波形的比较

本书的一个重要特点就是面向实际，从实践出发对知识点予以描述。本书力求从“技术”与“技巧”层面来描述电子基础各方面的相关知识点。在介绍知识点时，结合实际电路、图例予以讲述，即使在讲述必要的数学推导时，也注意简明扼要、深入浅出，通俗易懂。

当然，你不要指望本书能解决你学习中遇到的所有问题。任何一本书都不可能。要学会善于查找、参阅相关技术资料。

本书共9章，分别介绍了三极管放大电路与基础设计、场效应管及其放大电路、频率响应、差分电路、运算放大器、振荡器与直流电源等方面的基础知识。

不要小觑这些基础的东西，在实际工作中，随时都会应用到。对于初学者而言，本书内容是丰富而实际的，它能引导你在电子技术方面快速入门。



怎样才能成为一名电子技术员

许多人在学一样技术前，总是会问自己：能行吗？毋庸置疑，除好的教材、好的老师外，自身的因素在很大程度上是决定性的。以我的经验看来，我可以肯定地说，任何人都能成为一名电子技术员，如果他们努力提升以下三个方面的素质的话。

■ 兴趣、资质、实践

人们常说，兴趣是最好的老师。你正在阅读本书，这告诉我你对电子技术是真的感兴趣。

你家里的一个灯不亮，但其他灯亮，你会怎样做？你家里的灯不亮，插座也没电，但邻居家有电，你会怎样想？这两个问题对于你来说不难吧，那么，说明你已具最基本的资质特征。

如果你想学好电子技术，在电子技术工作方面享受愉快的时光，你必须有以下性格特征。

■ **耐心**——电子电路上所使用的许多元件很小，以致掉一个元件到地上即意味着你差不多会永久失去它；在某些电路部位，可能存在高电压。因此，高度紧张的人不适合从事电子技术工作。你需要井井有条并放松。你需要耐心，在从事实际工作时一次一个步骤。

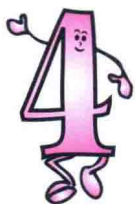
■ **灵巧**——正如刚才我告诉你的，许多元件非常小，虽然专业工具有一定的帮助，但你仍需要有一定的手眼协调和精细动作技能才能成功操作。

■ **恒心**——恒心意味着**顽强持久**。当学习变得艰难时**不会放弃**。如果你需要休息、呼吸一下新鲜空气，当然没问题。可是工作还等着你呢。对于任何一个电子技术员来说，耐心和坚韧的结合是成功的关键因素。

■ **整理**——坦率地讲，如果你没有螺丝和部件的整理计划而打算拆一部电子设备，你会感到很痛心，因为你无法复原设备。你注意到这些必需的性格特征是如何结合在一起的吗？这需要耐心和恒心，以制定一个系统的计划来指导你的实际工作。幸运的是这里是指维持一个秩序井然的工作环境而不是复杂高深的导弹技术。

■ **信心与勇气**——最后，从事电子技术工作需要你有信心、有勇气。当有人信任你检修他的电子设备时，即他相信你的技术能力。不论你是否有信心或勇气，你必须行动，如果你有信心和勇气，其他的将随之而来。

所谓实践，就是要多动手。而动手却并不单指在工具、仪器、元器件、实际电路板等方面的具体操作，还包括动手画一画电路图，适当地阅读分析一些电路图，做一些电路计算，等等。



如何学习电子技术



如何学习电子技术，这是一个很大的话题，简单地讲，应该有以下几点。

- ① 掌握基本的概念；
- ② 掌握基本电路；
- ③ 掌握基本分析方法；
- ④ 多动手实践。

应熟记那些基本的知识点。基本概念是不变的，但它的应用是灵活的，万变不离其宗。应掌握基本电路，掌握基本电路的构成、正常工作的条件、电路的功用，等等。

复杂的电路都是在基本电路的基础上衍变而来的。基本电路的组成原则是不变的，但其电路形式各不相同、千变万化。若记忆的仅仅是一个个孤立的电路，要真正学好技术是比较难的。

电路分析有不同的层面。多数情况下，**用基本概念、基本定律、基本公式即可分析理解电路**。例如，一个RC高通滤波器电路可简单地用电容通高频阻低频的特性（知识点）来分析理解。

实际上，电学是离不开数学的。本书当然会涉及一些数学公式，但基本上都属于加减乘除的简单运算（这对你应该不是问题）。当然，若是人工计算，肯定会感觉麻烦。但如果熟记一些基本公式，了解相关的公式，利用学生计算器或数学软件，计算也是很简单的。

不要将计算想得有多难，你所需要做的就是将相关数值代入相关的公式，敲几下按键或键盘，即可在计算器或数学软件中得到计算结果。你需要注意的是输入参数的单位变换和输入的准确性。

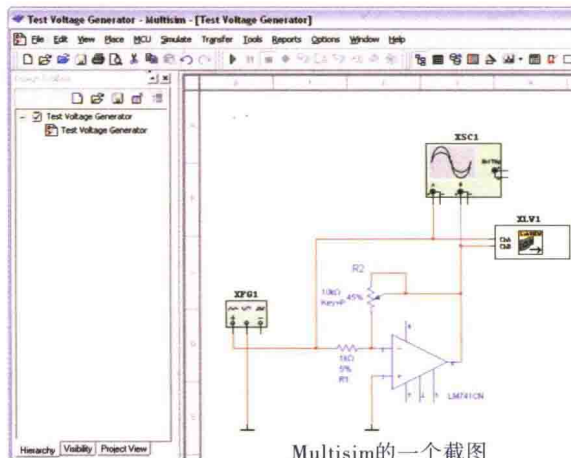
虽如上面所述，但基于本书的目的，你几乎可以不用进行数学计算即可很好地完成本书的学习。





电具有一定的抽象性，它不能被触摸、看、听或闻到。在一定程度上，需要利用一些仪器，如万用表、示波器、频谱分析仪等来观察它。因此，电子技术工程人员熟练掌握必要的仪器设备的使用是非常必要的。

对电子基础知识掌握到一定程度后，可利用仿真软件来辅助学习；利用仿真软件来设计、调试与分析电路，以加深对各知识点的理解；利用仿真软件内的各种虚拟仪器，可模拟操作进行各种测量，以进一步提高设计能力和实践能力。常用的仿真软件有Multisim、PSpice。



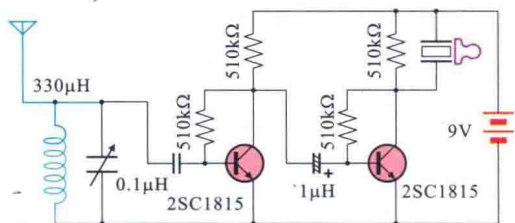
Multisim的一个截图



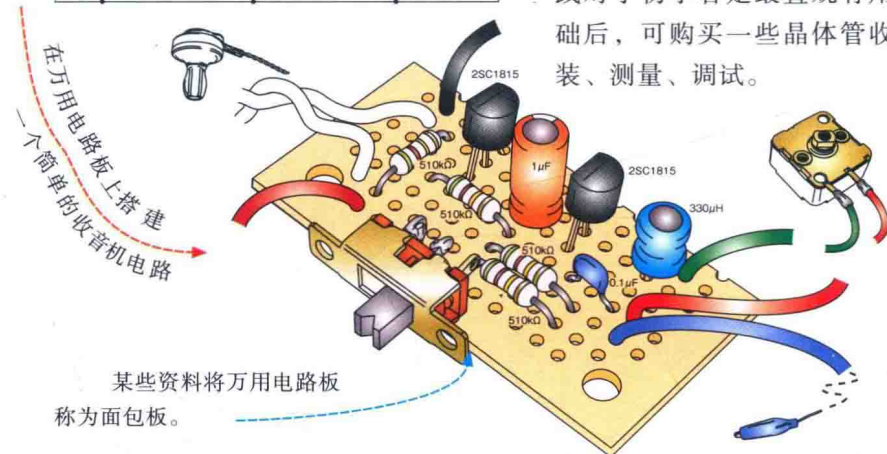
动手吧...

本书的读者，大都希望通过学习能掌握一定程度的拓展职业生涯的技能。而这里所说的技能就是利用相关领域的基础知识解决实际问题的能力。那么，如何发展并增强这样的技能呢？

最佳的方法当然是理论学习与实践相结合。然而，要想真正掌握这样的技能，就必须利用相当的时间来学习、阅读、理解。您会惊异地发现，您所求解的大部分问题都会应用到简单的基础知识。学习基础知识的过程，初看是非常乏味的，然而，这一过程非常必要，随着工作的深入、知识的增加，这一过程会变得越来越容易。随着时间推移，你会发现求解问题越来越快。花时间阅读、理解最终会为您节省大量的时间，同时避免失败。



在实践方面，可利用万用电路板搭建调试一些简单的电路，例如，三极管开关电路、简单的收音机电路、自动夜灯控制电路，等等。借此熟悉基本仪表操作、测量了解电路参数、验证所学知识并提高动手能力。这一方面的实践对于初学者是最直观有用的。待有一定的基础后，可购买一些晶体管收音机套件，用以组装、测量、调试。



花一两百元即可网购到许多电子元件，这点投资是值得的。

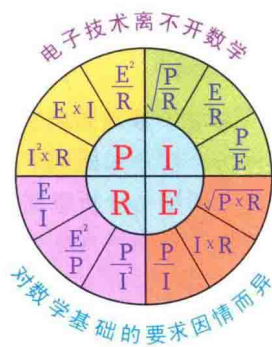


电学中的数学

电子技术相关书籍可以分为两大类：一类基本上依赖于严格的数学推导（特别是一些教材性质的书），另一类则宣称无需数学推导。

那么，究竟能否离开数学学电子技术呢？

答案是明确的：**电子技术离不开数学**。而这也是大多数人认为电子技术难学的最主要的原因之一。



不是所有的电子技术学习都对数学基础要求高。



如果您仅仅想从事一般的维修工作，那么只要有简单的加减乘除知识即可；如果您想成为一个有一定水准的技术人员，学习较多的电路理论，三角函数、矢量与虚数实数等知识肯定会帮到您；如果您想成为学者型技术人员、从事研究开发，微积分等数学知识肯定是需要了解的。

实际上，**除非**是专门的电路分析课程，或是在一些特别的工作领域，对于大多数学习电子的人来说，**电子技术就是一种由基本定律、经验准则与大量电路技巧结合而或的简单的技术**。

对于大多数电子技术员、电子工程师来说，并不主要依赖于数学方法来进行电路设计，而他们所设计电路的精确性、性能和可靠性并不会受到很大的影响。在懂得基本的电路理论后，自己的和来自别人的相关经验犹为重要。

若您将上面两段话简单理解为数学对于电子技术来说不重要，那就错了。对于大多数人（特别是初学者）来说，重点在于数学推导的结果，而不是数学推导的过程。如此，就相对简单很多。然而，如果你拿起笔参照着书的内容推导一下，无疑会使您的知识水平有质的飞跃。

当然，你得具备最基本的数学与逻辑推导能力。书中会给出一些估算公式，但任何书都不可能给出公式的所有形式，在进行某些计算（估算）时，你应能利用书中给出的基本公式推导出求解所需的公式。

例如，给出的基本公式是 $a = b(c-d)$ ，你应能明白如何求解 b 、 c 、 d 。

$$a = b \cdot (c-d) \quad \text{基本公式} \quad \downarrow \text{推导}$$

$$b = a \div (c-d) \quad b = \frac{a}{(c-d)}$$

这就是一个

推导示例

$$(c-d) = a \div b \quad (c-d) = \frac{a}{b}$$



$$c = a \div b + d \quad c = \frac{a}{b} + d$$

$$d = c - a \div b \quad d = c - \frac{a}{b}$$

目录 Contents

第 1 章 三极管放大电路	1
1.1 放大电路的性能指标	2
1.2 关于直流偏置	3
1.3 固定偏置的放大电路	7
1.3.1 固定偏置的直流分析	8
1.3.2 固定偏置的交流分析	9
1.3.3 图解法的交流分析	13
1.4 射极偏置电路	14
1.4.1 温度对 Q 点的影响	14
1.4.2 射极反馈偏置电路	15
1.4.3 射极偏置直流分析	16
1.4.4 射极偏置交流分析	17
1.5 分压偏置电路	19
1.5.1 固定分压偏置电路	20
1.5.2 分压偏置的直流分析	21
1.5.3 分压偏置的交流分析	24
1.5.4 关于射极旁路电容	27
1.6 集电极反馈偏置	28
1.7 共集电极电路	31
1.7.1 固定偏置的射极跟随器	32
1.7.2 分压偏置的射极跟随器	34
1.8 共基极放大电路	36
1.9 放大电路的简单设计	38
1.9.1 利用负载线简单设计	39
1.9.2 根据已有参数求解元件值	41
1.9.3 根据要求简单设计电路	43
1.9.4 设计一个射极跟随器	46
1.10 PNP 三极管电路	51



1.11	检修三极管电路	53
1.11.1	识别电路板上的电路	53
1.11.2	电阻法检修易受影响	56
1.11.3	电压法在线检修电路	60
1.11.4	电压法与分压偏置电路	62
1.11.5	元件损坏对电路的影响	66
第 2 章	多级放大与频率响应	71
2.1	多级放大电路的增益	72
2.2	阻容耦合放大器	76
2.2.1	阻容耦合的基本概念	76
2.2.2	耦合电容器的取值	76
2.2.3	多级阻容耦合放大器	79
2.3	变压器耦合放大器	81
2.4	直接耦合放大器	82
2.4.1	直接耦合的电位匹配	82
2.4.2	直接耦合的零点漂移	87
2.5	放大器的频率响应	88
2.5.1	了解混合 π 型等效电路	88
2.5.2	单级放大器的频率响应	90
第 3 章	差分放大电路	95
3.1	差分放大的基本概念	96
3.2	差分放大的交流分析	100
3.3	长尾式差分放大电路	102
3.4	双电源的长尾式电路	105
3.5	差分电路的四种接法	108
3.6	改进型差分放大电路	111
3.6.1	三极管电流源	112
3.6.2	使用恒流源的差分电路	113
第 4 章	场效应管电路	115
4.1	JFET 的偏置电路	116
4.1.1	自偏压电路	116
4.1.2	分压偏置电路	118



4.1.3	固定偏置结构	120
4.2	MOS管的偏置电路	121
4.2.1	零偏置电路	121
4.2.2	分压偏置电路	122
4.2.3	漏极反馈偏置	122
4.3	场效应管放大电路	123
4.3.1	FET的交流模型	123
4.3.2	共源放大电路	124
4.3.3	共漏放大电路	129
4.3.4	设计FET放大电路	130
4.4	开关及其他应用	131
4.4.1	理想的开关	131
4.4.2	MOSFET模拟开关	132
4.4.3	MOSFET数字开关	136
4.4.4	JFET电流源	137
4.4.5	可变电阻	138
4.5	FET及其电路检测	140
4.5.1	检修自偏压电路	140
4.5.2	检修分压偏置电路	141
第5章	功率放大电路	144
5.1	功率放大电路概述	145
5.2	甲类放大电路	148
5.2.1	RC耦合共射放大电路	149
5.2.2	变压器耦合共射放大电路	151
5.2.3	关于功率增益	153
5.3	乙类功率放大电路	155
5.3.1	乙类电路的问题	155
5.3.2	乙类推挽电路	155
5.3.3	变压器乙类电路	156
5.3.4	互补对称晶体管电路	158
5.3.5	乙类推挽电路的问题	158
5.4	甲乙类推挽放大电路	159



5.5	丙类放大电路	160
5.6	变压器输出放大电路	162
5.6.1	单管前置放大电路	162
5.6.2	单管功率放大电路	163
5.6.3	推挽功率放大电路	166
5.7	无变压器功放电路	170
5.7.1	变压器倒相的 OTL	170
5.7.2	晶体管倒相的 OTL	175
5.7.3	互补对称的 OTL	176
5.7.4	无输出电容的功放电路	181
5.8	集成功放电路	183
5.9	检修功率放大电路	185
5.9.1	检修甲类功放电路	185
5.9.2	检修变压器推挽功放	188
5.9.3	检修互补对称 OTL 电路	189
第 6 章	运算放大器电路	191
6.1	运算放大器概述	192
6.1.1	集成运放概述	192
6.1.2	理想与实际的运放	194
6.1.3	运放的输入信号模式	194
6.1.4	运放的输出信号	195
6.1.5	运放的电源连接	197
6.1.6	运放的带宽与压摆率	200
6.2	反相放大器	202
6.2.1	运放电路的反馈	202
6.2.2	虚短、虚断与虚地	202
6.2.3	反相放大器电路	203
6.2.4	反相放大器的阻抗	206
6.2.5	跨阻放大器	206
6.3	同相放大器	207
6.3.1	同相放大器电路	207
6.3.2	电压跟随器	208



6.3.3	信号衰减器	208
6.4	加法放大器	209
6.5	差分放大器	211
6.6	有源滤波器	214
6.6.1	一阶有源滤波器	214
6.6.2	二阶有源滤波器	220
6.6.3	有源滤波器级联	224
6.6.4	有源带通滤波器	226
6.6.5	关于有源滤波器的设计	229
6.7	运放的其他应用	245
6.7.1	积分电路	245
6.7.2	微分电路	247
6.7.3	对数放大器	248
6.7.4	反对数放大器	249
6.7.5	转换器	251
6.7.6	比较器	252
6.7.7	输出限幅	257
6.7.8	关于运放选用	258
6.8	运放电路检修	259
6.8.1	粗测运放好坏	259
6.8.2	检修反相放大器	260
6.8.3	检修滤波器电路	262
第 7 章	反馈与负反馈电路	266
7.1	反馈的基本概念	267
7.1.1	什么是反馈	267
7.1.2	直流反馈与交流反馈	268
7.1.3	正反馈与负反馈	268
7.1.4	电压反馈与电流反馈	270
7.1.5	串联反馈与并反馈	271
7.2	负反馈的四种组态	272
7.2.1	串联电压负反馈	272
7.2.2	并联电压负反馈	274



7.2.3	串联电流负反馈	275
7.2.4	并联电流负反馈	276
7.3	负反馈的一般关系式	277
7.4	深度负反馈下的增益	279
7.5	负反馈对放大器的影响	282
第 8 章	振荡器	283
8.1	关于振荡器	284
8.2	振荡器的基本概念	288
8.2.1	振荡电路的组成	288
8.2.2	产生振荡的条件	290
8.3	RC 正弦波振荡器	292
8.3.1	RC 移相式振荡器	292
8.3.2	RC 串并网络振荡器	294
8.4	LC 正弦波振荡器	298
8.4.1	LC 谐振回路的频率特性	298
8.4.2	变压器反馈式振荡器	299
8.4.3	关于三点式振荡器	300
8.4.4	电感三点式振荡器	301
8.4.5	电容三点式振荡器	303
8.4.6	串联型电容三点式振荡器	305
8.4.7	并联型电容三点式振荡器	309
8.4.8	设计一个振荡器	310
8.5	晶体振荡器	312
8.5.1	石英晶体的压电效应	312
8.5.2	晶体的参数	314
8.5.3	晶体的负载电容	315
8.5.4	并联与串联晶体电路	316
8.5.5	并联晶体振荡电路	317
8.5.6	串联晶体振荡电路	322
8.6	FET 振荡器	324
8.6.1	FET 皮尔斯振荡器	324
8.6.2	FET 考毕兹振荡器	328



8.6.3	FET 克拉波振荡器	329
8.6.4	FET 晶体振荡器	330
8.7	运放及其他振荡电路	332
8.7.1	运放 LC 振荡器	332
8.7.2	反相器晶体振荡器	335
8.7.3	矩形波振荡器	335
8.7.4	三角波振荡器	337
8.7.5	锯齿波振荡器	339
8.8	压控振荡器	342
8.8.1	基本概念	342
8.8.2	压控振荡器电路	344
8.8.3	VCO 模块	345
8.9	缓冲输出及其他	348
8.10	检修振荡电路	350
8.10.1	检查振荡电路是否工作	350
8.10.2	振荡信号不正常	351
第 9 章	直流电源电路	352
9.1	整流电路	353
9.1.1	半波整流	353
9.1.2	全波整流	355
9.1.3	桥式整流	356
9.2	滤波电路	358
9.2.1	电容滤波电路	358
9.2.2	滤波输出及纹波	361
9.2.3	其他滤波电路	364
9.3	电压倍增电路	366
9.3.1	二倍压电路	366
9.3.2	三倍压电路	367
9.3.3	多倍压电路	368
9.3.4	全波倍压电路	368
9.4	串联稳压电路	369
9.4.1	基本串联稳压电路	369



9.4.2	串联反馈型稳压电路	371
9.4.3	使用运放的串联稳压电路	374
9.4.4	短路或过载保护	376
9.4.5	集成稳压电路	377
9.5	开关电源电路	381
9.5.1	开关电源的类型	381
9.5.2	Buck 转换器	385
9.5.3	BOOST 转换器	389
9.5.4	同步整流开关电源	390
9.6	关于供电线路	395
9.7	检修电源电路	397
9.7.1	检修整流滤波电路	397
9.7.2	检修串联稳压电路	398
9.7.3	检修 LDO 电路	398
9.7.4	检修开关电源电路	399
	参考文献	401