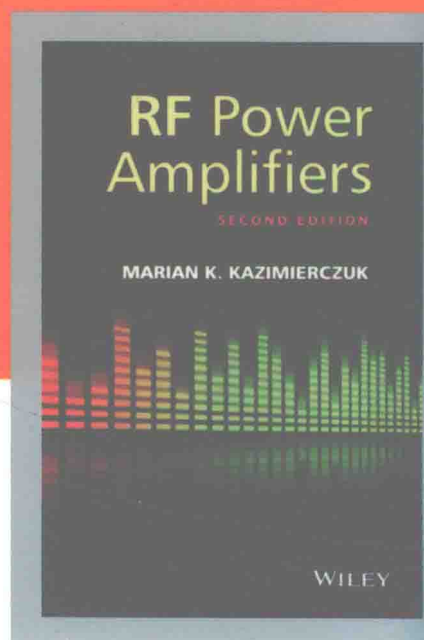


信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

RF Power Amplifiers (2nd Edition)

射频功率放大器 (第2版)

[美] Marian K. Kazimierczuk 著
孙玲 程加力 高建军 译



清华大学出版社

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

RF Power Amplifiers (2nd Edition)

射频功率放大器 (第2版)

[美] Marian K. Kazimierczuk 著

孙玲 程加力 高建军 译

清华大学出版社
北京

RF Power Amplifier, 2nd Edition

Marian K. Kazimierczuk

ISBN: 9781118844304

Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Limited. All rights reserved.

Copyright © 2016 by John Wiley & Sons Limited and Tsinghua University Press. All rights reserved.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Tsinghua University Press Limited and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2015-2182

本书封底贴有 John Wiley & Sons 防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

射频功率放大器: 第2版/(美)卡齐梅尔恰克(Kazimierczuk, M. K.)著; 孙玲, 程加力, 高建军译. —北京: 清华大学出版社, 2016

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

书名原文: RF Power Amplifier, 2nd Edition

ISBN 978-7-302-42594-6

I. ①射… II. ①卡… ②孙… ③程… ④高… III. ①高频放大器—功率放大器 IV. ①TN722

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第005506号

责任编辑: 曾 珊

封面设计: 常雪影

责任校对: 白 蕾

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市漂源装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm × 260mm

印 张: 34.5

字 数: 879千字

版 次: 2016年6月第1版

印 次: 2016年6月第1次印刷

印 数: 1~1500

定 价: 99.00元

产品编号: 061248-01

译者序

射频功率放大器是各种无线发射机的关键单元电路,在无线通信、导航、卫星通信、雷达、电子对抗设备等系统中有着广泛的应用。无线通信市场的快速发展一方面不断推动着射频功率放大器向高集成度、低功耗及价格低廉的方向发展;另一方面对射频功率放大器的线性度、效率及输出功率等性能指标不断提出越来越高的要求。因此,射频功率放大器已然成为无线发射机设计中最具挑战的单元电路之一。

本书作者 Marian K. Kazimierczuk 教授是 IEEE 会士,在功率电子领域有着世界级的贡献。自 2008 年该书第 1 版出版以来,一直深受国内外读者好评,被认为是射频功率放大器领域不可多得的优秀参考书籍。在第 1 版的基础上,作者修订和更新部分内容,完成了第 2 版的出版。为进一步促进射频功率放大器设计技术在我国的发展,同时也得益于清华大学出版社的大力支持和鼓励,我们决定翻译 Marian K. Kazimierczuk 先生的这部新作。

该书从工程实际应用的角度出发,针对不同类型功率放大器的特点,给出了大量工程应用实例,深入浅出,通俗易懂。每章都安排了小结、复习思考题和习题,为读者掌握核心知识点起到提纲挈领的作用。该书不仅可以作为广大工程技术人员的参考书,也可以作为高等院校相关专业的教材。

南通大学专用集成电路设计重点实验室的研究生王雪敏、韩笑、王智锋、杨凯,华东师范大学信息工程学院的研究生骆丹婷、程冉等参与该书的翻译工作,在此表示衷心的感谢!尽管我们都有着一定的集成电路设计经历,但翻译过程还是没有想象中那么顺利,我们都因此收获颇丰。

也许本书作者想在第一时间与大家分享他的最新成果,因此书中有些地方还有一定的改进空间,甚至还有一些疏漏。在翻译过程中,我们已经修改了多处比较明显的欠妥之处。但由于译者水平有限,可能会在翻译过程中引入新的欠妥,恳请大家在阅读过程中发现问题后不吝赐教,向我们反馈(E-mail: sun. l@ntu. edu. cn)。非常感谢!

最后还要感谢清华大学出版社对本书翻译工作的大力支持,感谢各位编辑在翻译和审校等环节的辛勤付出。

译者

2015 年 12 月

前言

本书是第1版的修订、更新和扩展。这本书主要介绍了各种用于无线通信和其他射频应用领域的射频功率放大器,它可以作为电子工程专业的研究生和高年级本科生的入门教材,也可以作为射频功率电子领域应用工程师的参考书。与第1版相比,本书在内容方面进行了全面修订和扩充,旨在介绍射频功率放大器设计、效率提高和线性化技术的基础知识。本书给出了A类、B类、C类、D类、E类、DE类以及F类射频功率放大器的分析和设计流程,包括阻抗转换;探讨了预失真、前馈和负反馈等多种线性化技术;讨论了动态供电、包络消除和恢复、包络跟踪、Doherty放大器和移相等提高效率的方法。此外,还介绍了单片集成电感和射频LC振荡器。射频功率放大器作为无线发射机的功率放大级,广泛应用于广播系统、移动无线通信系统、雷达和卫星通信。

阅读本书之前,读者应当熟悉基本的电路分析技术、半导体器件、线性系统和电子电路的相关知识,通信方面的课程对理解本书也很有用。

非常感谢助理编辑 Laura Bell、高级项目编辑 Richard Davies 以及出版商 Peter Mitchell,和他们一起工作十分开心。最后我还要感谢我的家人对我的支持。

感谢 Nisha Kondrath 博士和 Rafal Wojda 博士提供的 MATLAB 图表。欢迎广大读者对本书的技术内容和写作风格提出宝贵的意见。

Marian K. Kazimierczuk 教授

作者简介

Marian K. Kazimierzuk 是美国俄亥俄州代顿市莱特州立大学电气工程领域的 Robert J. Kegerreis 杰出教授,在波兰华沙理工大学电子系获得硕士和博士学位。作者先后已著书 6 部,发表期刊论文 180 多篇,会议论文 210 多篇,获得专利 7 项。

他的研究兴趣是功率电子,包括射频高效率功率放大器和振荡器,脉宽调制的 DC-DC 功率转换器,谐振 DC-DC 功率转换器,功率转换器的建模和控制,高频磁性器件,电子镇流器,有源功率校正器,半导体功率器件,无线充电系统,可再生能源,能量收集,绿色能源和近场微波成像。

他是 IEEE 会士和杰出讲师,电力系统与电力电子电路和 IEEE 电路与系统技术委员会的主席,IEEE 电路与系统国际会议、IEEE 电路和系统中西部研讨会的技术委员会成员。他还是 *IEEE transactions on circuits and systems; Part I: Regular Papers*, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *International Journal of Circuit Theory and Applications* 以及 *Journal of Circuits, systems, and computers* 期刊的副主编, *IEEE Transactions on Power Electronics* 的特邀编辑。

1995 年,他获得了莱特州立大学授予的优秀员工总统奖,1996 年到 2000 年,被评为莱特州立大学 Brage Golding 杰出教授。2004 年,凭借杰出表现获得了莱特州立大学的理事奖。2008 年,荣获美国工程教育学会(ASEE)授予的杰出教育奖。他还获得过莱特州立大学电子工程与计算机学院的杰出研究奖、杰出教育奖、杰出专业贡献奖。他还入选工程领域和电子电气领域顶级作者名录。

他已主编或参编了 6 部著作,分别是:Wiley 出版的 *Resonant Power Converters, 2nd Ed.*; IEEE Press 与 Wiley 共同出版的 *Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters*; Wiley 出版的 *High-Frequency Magnetic Components, 2nd Ed.*, 并被翻译成中文; Wiley 出版的 *RF Power Amplifiers, 2nd Ed.*; Pearson 与 Prentice Hall 共同出版的 *Electronic Devices: A Design Approach* 和 *Laboratory Manual to Accompany Electronic Devices: A Design Approach, 2nd Ed.*。

符号列表

A_e	天线的有效面积	f_0	谐振频率
A_v	电压增益	f_p	传输函数的极点频率
a	线圈的平均半径	f_r	L - C - R 电路的谐振频率
B	磁通密度	f_s	开关频率
B_n	等效噪声带宽	g_m	晶体管跨导
BW	带宽	H	磁通量强度
C	谐振电容	h	布线厚度
C_B	隔直电容	I_D	漏极直流电流
C_c	耦合电容	I_{DM}	漏极峰值电流
C_{ds}	MOSFET 器件的漏极-源极电容	I_{SM}	开关峰值电流
$C_{ds}(25V)$	MOSFET 器件的漏极-源极电容 ($V_{DS} = 25V$)	I_m	电流 i 的幅值
C_{gd}	MOSFET 器件的栅极-漏极电容	I_n	均方根噪声电流
C_{gs}	MOSFET 器件的栅极-源极电容	I_{rms}	电流 i 的均方根值
C_{iss}	MOSFET 器件的输入电容 ($V_{DS} =$ $0V$), $C_{iss} = C_{gs} + C_{gd}$	i	电流
C_{oss}	MOSFET 器件的输出电容 ($V_{GD} =$ $0V$), $C_{oss} = C_{gs} + C_{ds}$	i_C	电容电流
C_{ox}	单位面积的氧化物电容	i_D	漏极大信号电流
C_{out}	晶体管输出电容	i_d	漏极小信号电流
C_{rss}	MOSFET 转移电容, $C_{rss} = C_{gd}$	i_L	电感电流
C_p	放大器的输出功率能力	i_o	交流输出电流
D	线圈的外直径	i_S	开关电流
d	线圈的内直径	K	MOSFET 器件参数
E	电场强度	K_n	MOSFET 工艺参数
f	工作频率, 开关频率	K_s	载流子漂移速率饱和时的 MOSFET 参数
f_c	载波频率	k	玻尔兹曼常数
f_{IF}	中频	K_p	功率增益
f_{LO}	本振频率	L	谐振电感, 沟道长度
f_m	调制频率	L_f	滤波电感
		$L_{fmin}^{①}$	滤波电感 L_f 的最小值

① 编辑注: 与英文版原书保持一致, 分别表示最大值和最小值的下角 max, min 用斜体。

L_{RFC}	射频扼流电感	r_G	栅极电阻
l	电感走线长度, 绕线长度	r_L	谐振电感的等效串联电阻(ESR)
m	调幅指数	r_o	晶体管的输出电阻
m_f	调频指数	S_i	电流波形的斜率
m_p	调相指数	S_v	电压波形的斜率
N	电感匝数	s	平面电感的线间距
n	变压器匝数比	T	工作温度, 波形周期
P_{AM}	调幅信号功率	THD	总谐波失真
P_C	载波功率	t_f	MOSFET 或 BJT 器件的下降时间
P_D	功率消耗	V_A	沟道调制电压
PEP	功率包络峰值	V_{Cm}	电容两端的电压幅度
P_G	栅极驱动功率	V_C	载波电压幅度
P_I	直流(输入)功率	V_{DS}	漏-源直流电压
P_{LOSS}	功率损耗	V_{DSM}	漏-源电压峰值
P_{LS}	下边带功率	V_{GS}	栅-源直流电压
P_n	噪声功率	V_I	直流供电电压(输入)
P_O	交流输出功率	V_{Lm}	电感两端的电压幅度
P_r	谐振电路的功率损耗	V_{dsm}	漏-源小信号电压幅度
P_{rDS}	MOSFET 导通电阻的传导功率损耗	V_{gsm}	栅-源小信号电压幅度
P_{rC}	谐振电容的功率损耗	V_m	调制电压幅度
P_{rL}	谐振电感的功率损耗	V_n	输出电压的第 n 次谐波, 噪声均方根电压
P_{sw}	开关功率	V_{rms}	电压 v 的均方根值
P_{US}	上边带功率	V_{SM}	开关的峰值电压
P_{vf}	电流下降时间 t_f 导致的平均功率损耗	V_t	MOSFET 器件的阈值电压
p	闭合线圈周长	v	电压
$P_{D(ant)}$	瞬时漏极功率损耗	v_c	载波电压
Q_{CO}	电容品质因素	v_{DS}	漏-源大信号电压
Q_L	f_o 处负载品质因素	v_{DSsat}	饱和区边界处的漏-源电压
Q_{L0}	电感品质因素	v_{ds}	漏-源小信号电压
Q_0	f_o 处空载品质因素	v_{GS}	栅-源大信号电压
q_A	电抗因素	v_{gs}	栅-源小信号电压
q_B	电抗因素	v_m	调制电压
R	不含阻抗匹配电路的放大器总电阻	v_o	交流输出电压
R_{DC}	放大器的直流输入电阻	v_{sat}	饱和载流子漂移速率
R_L	负载电阻	W	能量, 沟道宽度
R_{Lmin}	R_L 的最小值	w	布线宽度
r	总的寄生电阻	X	阻抗 Z 的虚部
r_C	谐振电容的等效串联电阻(ESR)	Y	谐振电路的输入导纳
r_{DS}	MOSFET 的导通电阻	Z	谐振电路的输入阻抗

$ Z $	阻抗 Z 的幅度	λ	波长, 沟道长度调制系数
Z_i	输入阻抗	μ	载流子迁移率
Z_0	谐振电路的特征阻抗	μ_0	自由空间的磁导率
α_n	漏极电流的傅里叶系数	μ_n	电子迁移率
β	反馈网络的增益	μ_r	相对磁导率
γ_n	漏极电流的傅里叶系数比	ζ_n	漏-源电压的傅里叶系数比
Δf	频率偏移	ρ	电阻率
δ	狄拉克脉冲函数	σ	电导率
ε_{ox}	氧化物介电常数	ϕ	相位, 角度, 磁通量
η	放大器的效率	ψ	阻抗 Z 的相位
η_{AV}	放大器的平均效率	ω	工作角频率
η_D	放大器的漏极效率	ω_c	载波角频率
η_{PAE}	放大器的功率附加效率	ω_m	调制角频率
η_r	谐振电路的效率	ω_0	谐振角频率
θ	漏极电流半导通角, 迁移率退化系数		

缩略语列表

AM	Amplitude Modulation 幅度调制
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio 相邻信道泄漏比
ASK	Amplitude Shift Keying 幅移键控
BW	Bandwidth 带宽
CW	Continuous Wave 连续波
CDMA	Code Division Multiple Access 码分多址
EER	Envelope Elimination and Restoration 包络消除与恢复
ET	Envelope Tracking 包络跟踪
FDMA	Frequency Division Multiple Access 频分多址
FDD	Frequency Division Duplexing 频分双工
FM	Frequency Modulation 频率调制
FSK	Frequency Shift Keying 频移键控
GSM	Global System for Mobile Communications 全球移动通信系统
HEMT	High Electron Mobility Transistor 高电子迁移率晶体管
IMD	Intermodulation Distortion 互调失真
IP	Intercept Point 截断点
LINC	Linear Amplification with Nonlinear Components 利用非线性元件的线性放大
LNA	Low Noise Amplifier 低噪声放大器
LTE	Long-Term Evolution 长期演进
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing 正交频分复用
PAR	Peak-to-Average Ratio 峰均比
PA	Power Amplifier 功率放大器
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio 峰均功率比
PDF	Probability Density Function 概率密度函数
PEP	Peak Envelope Power 峰值包络功率
PM	Phase Modulation 相位调制
PWM	Pulse Width Modulation 脉宽调制
PSK	Phase Shift Keying 相移键控
QAM	Quadrature Amplitude Modulation 正交调幅
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying 正交相移键控
RF	Radio Frequency 射频

目录

译者序.....	1
前言.....	3
作者简介.....	5
符号列表.....	7
缩略语列表	11
第1章 绪论.....	1
1.1 射频发射机	1
1.2 便携式电子产品的电池	1
1.3 射频功率放大器原理框图	2
1.4 射频功率放大器的分类	3
1.5 射频功率放大器的信号波形	5
1.6 射频功率放大器的参数	5
1.6.1 射频功率放大器的漏极效率.....	5
1.6.2 发射机平均效率的统计特性.....	7
1.6.3 栅极驱动功率.....	8
1.6.4 功率附加效率.....	8
1.6.5 输出功率能力.....	9
1.7 发射机的噪声.....	10
1.8 功率放大器效率为100%的条件	10
1.9 功率放大器100%效率时输出功率非零的条件	13
1.10 E类ZVS放大器的输出功率	15
1.11 E类ZCS放大器	17
1.12 天线	18
1.13 电磁波的传播	20
1.14 频谱	21
1.15 双工器	23
1.16 多址技术	23
1.17 发射机的非线性失真	24
1.18 载波信号的谐波	24
1.19 互调失真	27

1.20	AM/AM 压缩和 AM/PM 转换	31
1.21	功率放大器的动态范围	31
1.22	模拟调制	32
1.22.1	幅度调制	34
1.22.2	相位调制	39
1.22.3	频率调制	40
1.23	数字调制	44
1.23.1	幅移键控	44
1.23.2	相移键控	44
1.23.3	频移键控	45
1.24	雷达	46
1.25	射频识别	47
1.26	本章小结	48
1.27	复习思考题	49
1.28	习题	50
	参考文献	50
第2章	A 类 RF 功率放大器	52
2.1	引言	52
2.2	功率 MOSFET 器件的特性	52
2.2.1	MOSFET 器件漏极电流的平方律	52
2.2.2	沟道长度调制	53
2.2.3	MOSFET 的低中频小信号模型	54
2.2.4	MOSFET 高频小信号模型	54
2.2.5	单位增益频率	55
2.3	短沟道效应	56
2.3.1	电场对电荷载流子迁移率的影响	56
2.3.2	欧姆区	57
2.3.3	沟道夹断区	58
2.3.4	宽禁带半导体器件	61
2.4	A 类射频功率放大电路	63
2.5	A 类射频放大器中的信号波形	64
2.5.1	假设	64
2.5.2	电流和电压波形	65
2.5.3	输出功率波形	66
2.5.4	晶体管功率损耗波形	67
2.6	A 类射频功率放大器的能量参数	71
2.6.1	A 类射频功率放大器的漏极效率	71
2.6.2	A 类射频功率放大器的统计特性	73
2.6.3	最小漏极-源极电压非零时的漏极效率	76

2.6.4 A 类射频功率放大器的输出功率能力	76
2.6.5 栅极驱动功率	77
2.7 并联谐振电路	77
2.7.1 并联谐振电路的品质因数	77
2.7.2 并联谐振电路的阻抗	78
2.7.3 并联谐振电路的带宽	80
2.8 并联谐振电路的功率损耗和效率	80
2.9 带有电流镜的 A 类射频功率放大器	83
2.10 阻抗匹配电路	86
2.11 A 类射频线性放大器	89
2.11.1 用于变包络信号的放大器	89
2.11.2 用于恒包络信号的放大器	91
2.12 本章小结	91
2.13 复习思考题	92
2.14 习题	92
参考文献	93
第 3 章 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器	94
3.1 引言	94
3.2 B 类射频功率放大器	94
3.2.1 B 类射频功率放大器的电路	94
3.2.2 B 类射频功率放大器的波形	94
3.2.3 B 类射频功率放大器的功率关系	98
3.2.4 B 类射频功率放大器的漏极效率	99
3.2.5 B 类射频功率放大器漏极效率的统计特征	100
3.2.6 A 类与 B 类射频功率放大器的漏极效率比较	102
3.2.7 B 类射频功率放大器的输出功率能力	103
3.3 AB 类和 C 类射频功率放大器	105
3.3.1 AB 类和 C 类射频功率放大器的波形	105
3.3.2 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器的功率	110
3.3.3 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器的漏极效率	110
3.3.4 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器的输出功率能力	111
3.3.5 $\theta = 120^\circ$ 时 AB 类射频功率放大器的参数	112
3.3.6 $\theta = 60^\circ$ 时 C 类射频功率放大器的参数	114
3.3.7 $\theta = 45^\circ$ 时 C 类射频功率放大器的参数	116
3.4 推挽互补式 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器	119
3.4.1 推挽式射频功率放大电路	119
3.4.2 推挽式放大器消除偶次谐波	119
3.4.3 推挽式射频功率放大器的功率关系	120
3.4.4 器件应力	121

3.5 变压器耦合的 B 类推挽式射频功率放大器	123
3.5.1 波形	123
3.5.2 功率关系	125
3.5.3 器件应力	126
3.6 变包络信号的 AB 类、B 类和 C 类射频功率放大器	127
3.7 本章小结	129
3.8 复习思考题	130
3.9 习题	131
参考文献	131
第 4 章 D 类射频功率放大器	132
4.1 引言	132
4.2 MOSFET 开关	132
4.3 D 类射频功率放大器的电路描述	133
4.4 D 类射频功率放大器的工作原理	135
4.4.1 工作频率小于谐振频率	137
4.4.2 工作频率大于谐振频率	139
4.5 电压型 D 类射频功率放大器的拓扑结构	140
4.6 分析	141
4.6.1 假设	141
4.6.2 谐振电路的输入电压	141
4.6.3 串联谐振电路	142
4.6.4 串联谐振电路的输入阻抗	145
4.7 D 类功率放大器的带宽	148
4.8 工作在谐振频率处的 D 类射频功率放大器	150
4.8.1 理想 D 类射频功率放大器的特性	150
4.8.2 D 类功率放大器电流和电压应力	151
4.8.3 D 类射频功率放大器的输出功率能力	151
4.8.4 D 类射频功率放大器的功率损耗和效率	151
4.8.5 栅极驱动功率	152
4.9 带有幅度调制的 D 类射频功率放大器	155
4.10 工作在谐振频率外的 D 类射频功率放大器	157
4.10.1 电流和电压应力	160
4.10.2 工作在短路和开路条件下的 D 类射频功率放大器	162
4.11 半桥式 D 类功率放大器的效率	163
4.11.1 传导损耗	163
4.11.2 接通开关损耗	163
4.11.3 断开开关损耗	167
4.12 设计实例	168
4.13 变压器耦合的推挽式 D 类电压开关型功率放大器	169

4.13.1	波形	169
4.13.2	功率	171
4.13.3	电流和电压应力	171
4.13.4	效率	171
4.14	全桥式 D 类射频功率放大器	173
4.14.1	电流、电压和功率	173
4.14.2	全桥式 D 类射频功率放大器的效率	176
4.14.3	工作在短路和开路条件下	177
4.14.4	电压传递函数	177
4.15	全桥式 D 类射频功率放大器的相位控制	178
4.16	电流开关型 D 类射频功率放大器	180
4.16.1	电路和波形	180
4.16.2	功率	181
4.16.3	电压和电流应力	181
4.16.4	效率	182
4.17	变压器耦合的推拉式 D 类电流开关型射频功率放大器	183
4.17.1	波形	183
4.17.2	功率	185
4.17.3	器件应力	185
4.17.4	效率	185
4.18	桥式 D 类电流开关型射频功率放大器	188
4.19	本章小结	191
4.20	复习思考题	192
4.21	习题	192
	参考文献	193
第 5 章	零电压开关的 E 类射频功率放大器	195
5.1	引言	195
5.2	电路描述	195
5.3	电路工作原理	196
5.4	零电压开关和零微分工作状态下的 E 类放大器	198
5.5	次优工作状态	198
5.6	电路分析	199
5.6.1	假设	199
5.6.2	电流和电压波形	199
5.6.3	电流和电压应力	201
5.6.4	串联谐振电路两端的电压幅度	202
5.6.5	负载网络的元件参数值	203
5.6.6	输出功率	205
5.7	理想 E 类放大器的漏极效率	205

5.8 射频扼流电感	205
5.9 E 类放大器的最大工作频率	206
5.10 占空比为 0.5 时的放大器参数小结	206
5.11 效率	208
5.12 基本的 E 类放大器设计	210
5.13 谐振电路的阻抗匹配	213
5.13.1 分接电容的 $\pi 1a$ 型阻抗匹配谐振电路	214
5.13.2 分接电感的 $\pi 2a$ 型阻抗匹配谐振电路	216
5.13.3 $\pi 1b$ 型阻抗匹配谐振电路	218
5.13.4 $\pi 2b$ 型阻抗匹配谐振电路	220
5.13.5 $1/4$ 波长阻抗变换器	222
5.14 带有非线性并联电容的零电压开关 E 类射频功率放大器	224
5.15 推挽式零电压开关 E 类射频功率放大器	228
5.16 带有有限直流馈电电感的零电压开关 E 类射频功率放大器	229
5.17 带有并串联谐振电路的零电压开关 E 类射频功率放大器	231
5.18 输出电压非正弦的零电压开关 E 类射频功率放大器	233
5.19 带有并联谐振电路的零电压开关 E 类射频功率放大器	236
5.20 零电压开关 E 类射频功率放大器的幅度调制	240
5.21 本章小结	241
5.22 复习思考题	242
5.23 习题	242
参考文献	243
第 6 章 零电流开关的 E 类射频功率放大器	248
6.1 引言	248
6.2 电路描述	248
6.3 电路工作原理	248
6.4 电路分析	250
6.4.1 稳态电流和电压波形	250
6.4.2 峰值开关电流和电压	252
6.4.3 电流和电压的基频分量	252
6.5 放大器的功率	253
6.6 负载网络的元件参数值	254
6.7 设计实例	254
6.8 本章小结	255
6.9 复习思考题	256
6.10 习题	256
参考文献	256

第 7 章 DE 类射频功率放大器	257
7.1 引言	257
7.2 DE 类射频功率放大器分析	257
7.3 电路组成元件分析	262
7.4 元器件应力	264
7.5 电路的设计方程	264
7.6 电路的最大工作频率	265
7.7 仅有一个并联电容的 DE 类放大器	266
7.8 电路的输出功率	268
7.9 晶体管输出电容的非线性消除方法	268
7.10 DE 类射频功率放大器的幅度调制	269
7.11 本章小结	269
7.12 复习思考题	269
7.13 习题	270
参考文献	270
第 8 章 F 类射频功率放大器	272
8.1 引言	272
8.2 含有三次谐波的 F 类射频功率放大器	273
8.2.1 放大器 F_3 的最大平坦度	276
8.2.2 放大器 F_3 的最大漏极效率	282
8.3 含有三次和五次谐波的射频功率放大器 F_{35}	290
8.3.1 放大器 F_{35} 的最大平坦度	290
8.3.2 放大器 F_{35} 的最大漏极效率	296
8.4 含有三次、五次和七次谐波的射频功率放大器 F_{357}	298
8.5 带有并联谐振电路和 $1/4$ 波长传输线的射频功率放大器 F_T	299
8.6 含有二次谐波的射频功率放大器 F_2	304
8.6.1 漏极矩形波电流的傅里叶级数	304
8.6.2 放大器 F_2 的最大平坦度	306
8.6.3 放大器 F_2 的最大漏极效率	311
8.7 含有二次和四次谐波的射频功率放大器 F_{24}	315
8.7.1 放大器 F_{24} 的最大平坦度	315
8.7.2 放大器 F_{24} 的最大漏极效率	319
8.8 含有二次、四次和六次谐波的射频功率放大器 F_{246}	323
8.9 带有串联谐振电路和 $1/4$ 波长传输线的射频功率放大器 F_K	323
8.10 本章小结	327
8.11 复习思考题	327
8.12 习题	328
参考文献	328