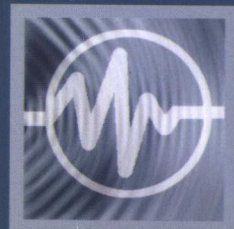


高等学校教材 · 电子信息

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

电路分析基础教程



刘景夏 孙建红 郑学瑜 聂典 编著



清华大学出版社

高等学校教材·电子信息

电路分析基础教程

刘景夏 孙建红 郑学瑜 聂 典 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部电子信息与电气信息类基础课程教学指导委员会于2004年修订的《电路分析基础课程教学基本要求》，结合电子信息类专业教学改革形势和实际需要而编写成的。主要内容分为7章，包括电路的基本概念与定律、电阻电路分析、动态电路时域分析、正弦稳态分析、电路的频率响应和谐振现象、二端口网络、非线性电路。本书侧重于对少学时课堂教学的课堂设计，通篇贯彻精讲教学基本原则和研究、讨论式的教学方法，有利于培养学生的综合素质和能力。全书力求准确把握课程体系的基本脉络，体现较好的知识结构。重点突出，顺序合理，要点明确，语言流畅易懂。基本概念讲述严密准确，说理细致透彻；基本方法阐述步骤明确，前后联系紧密；并配有丰富的例题、思考与练习题、测试题、讨论课内容等。

本书可作为高等学校电子信息类专业学生的教材或辅助教材，也可作为研究生入学考试复习资料用书，以及相近专业师生和工程技术人员的参考书。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础教程 / 刘景夏等编著. —北京：清华大学出版社，2005.8

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-11015-8

I. 电… II. 刘… III. 电路分析—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 049483 号

出 版 者：清华大学出版社 地 址：北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 客户服务：010-62776969

责任编辑：魏江江

封面设计：杨 兮

印 刷 者：北京牛山世兴印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185 × 260 印张：18.75 字数：445 千字

版 次：2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-11015-8/TN · 253

印 数：1 ~ 4000

定 价：25.00 元

编审委员会成员

(按地区排序)

- | | |
|-----|-----------------------|
| 王志功 | (东南大学 教授) |
| 王成山 | (天津大学电气与自动化工程学院 教授) |
| 王煦法 | (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授) |
| 王新龙 | (南京大学 教授) |
| 王成华 | (南京航空航天大学 教授) |
| 方 勇 | (上海大学 教授) |
| 方建安 | (东华大学信息科学与技术学院 教授) |
| 邓元庆 | (解放军理工大学理学院基础部 教授) |
| 刘景夏 | (解放军理工大学理学院基础部 副教授) |
| 冯久超 | (华南理工大学 教授) |
| 冯全源 | (西南交通大学 教授) |
| 刘惟一 | (云南大学信息学院 教授) |
| 刘复华 | (武汉理工大学 教授) |
| 朱 杰 | (上海交通大学 教授) |
| 朱守正 | (东北师范大学 教授) |
| 张秉权 | (沈阳工业学院 教授) |
| 张丽英 | (长春大学电子信息工程学院 教授) |
| 张德民 | (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授) |
| 迟 岩 | (集美大学信息工程学院 教授) |
| 严国萍 | (华中科技大学 教授) |
| 何明一 | (西北工业大学 教授) |
| 何怡刚 | (湖南大学电气与信息工程学院 教授) |
| 何 晨 | (上海交通大学 教授) |
| 余成波 | (重庆工学院 教授) |
| 林 君 | (吉林大学 教授) |
| 金炜东 | (西南交通大学 教授) |
| 郑永果 | (山东科技大学信息学院 教授) |
| 刘志军 | (山东大学 教授) |
| 赵鹤鸣 | (苏州大学电子信息学院 教授) |
| 徐佩霞 | (中国科学技术大学 教授) |

郭从良 (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授)
郭维廉 (天津大学电子信息工程学院 教授)
曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

改革开放以来，特别是党的十五大以来，我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就，高等教育实现了历史性的跨越，已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上，高等教育规模取得如此快速的发展，创造了世界教育发展史上的奇迹。当前，教育工作既面临着千载难逢的良好机遇，同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾，是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月，教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》，提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月，教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件，指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制订的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分，精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间（2003—2007年）建设1500门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放，以实现优质教学资源共享，提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》精神，紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”，在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”（以下简称“编委会”），旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划，讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师，其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求，“编委会”一致认为，精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求，处于一个比较高的起点上；精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要，要有特色风格、有创新性（新体系、新内容、新手段、新思路，教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量）、先进性（对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、

代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

清华大学出版社经过近二十年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过二十多年的精雕细刻,形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

随着教育观念的不断更新和电子科技日新月异的发展,现代教育手段已渗透到各项教学工作之中,电工电子系列课程的教学改革已取得了不少成果。同时,也对我们提出了新的更高的要求。目前,电子信息类专业基础课程已面临“课时压缩、内容要求基本不变”的新情况,其中“电路分析基础”课程课时大多压缩在 60~70 学时。这种改革的本意是给予学生更多的思考空间,而不是简单地减少内容、简化叙述。课堂教学仍然是教学工作的主要环节,针对这一新情况,十分有必要设计好课堂教学内容,提高课堂教学质量及教学效率。因此,要求教师贯彻精讲原则,精心组织讲课内容,突出知识点间的联系,体现知识点的前后呼应和举一反三;并应讲出自己的心得和体会,以激发学生的学习兴趣,引导学生学会思考,学会学习。

本书旨在侧重于对少学时课堂教学的课堂设计,通篇贯彻精讲的教学原则和研究、讨论式的教学方法。教师特别是青年教师可根据各类素质的教学对象就书中精讲内容稍作修改即可成为讲稿;学生掌握本书相当于有了听课的笔记,再通过练习和测试,更能起到复习巩固的作用。教学相助,有利于学生在学习该课程的过程中建立科学的思维方法,培养分析问题和解决问题的能力、科学总结与归纳的能力、综合运用知识的能力,以达到本课程教学大纲的目的,乃至适应研究生入学考试的需求。

全书主要内容分为 7 章,包括:电路的基本概念与定律、电阻电路分析、动态电路时域分析、正弦稳态分析、电路的频率响应和谐振现象、二端口网络、非线性电路。每章均由六个部分组成。

第一部分为“引言”。对上一章及本章进行简要回顾和前瞻,承上启下,交待本章教学任务。

第二部分为“知识结构”。概括本章知识点的脉络。

第三部分为“教学要求及时间分配”。明确对本章内容的掌握程度,建议本章的授课时间及各讲中的知识点。

第四部分为“精讲内容”。对本章主要概念、基本理论和分析方法进行阐述,引入典型例题分析,归纳总结重要结论。在每个知识点力求体现较好的知识结构,以启迪读者思维,掌握主要线索,把握基本脉络。原则上,在每一讲后安排一次“思考与练习”,帮助读者及时巩固所学知识。

第五部分为“本章小结”。帮助读者理清思路、总结提高。

第六部分为“测试题”。配置深浅度搭配合理的习题，供读者进行自我检测，书中配有这些测试题的答案。

全书将教学内容按 64 学时、32 讲设计（也可根据实际情况灵活确定精讲内容）。其中基本内容 29 讲、讨论课 3 讲。讨论课分别按“电阻电路分析”、“动态电路时域分析”、“正弦稳态分析”三块内容进行，每讲内容均设有“分析方法讨论”、“概念是非题讨论”、“典型例题剖析”等，可帮助学生区分容易混淆的概念，选用较好的电路分析方法，纠正常见的错误。

本书可作为高等学校电子信息类专业学生的教材或辅助教材，也可作为研究生入学考试的复习资料，以及相近专业师生和工程技术人员的参考书。

限于作者的水平和经验，书中难免有疏漏不妥之处，恳请专家、读者不吝指教。

编 者

2005 年 5 月

第 1 章 电路的基本概念与定律	1
1.1 引言	1
1.2 知识结构	2
1.3 教学要求及时间分配	2
1.4 精讲内容	3
1.4.1 实际电路与电路模型	3
1.4.2 电路的基本变量	4
思考与练习	8
1.4.3 基尔霍夫定律	8
1.4.4 电路基本元件	11
1.4.5 两类约束	16
1.4.6 两种简单电路分析	16
思考与练习	17
1.4.7 电路等效概念	18
思考与练习	21
1.4.8 等效分析法应用	22
思考与练习	27
1.4.9 运算放大器	28
思考与练习	34
1.5 本章小结	35
1.6 测试题	36
第 2 章 电阻电路分析	40
2.1 引言	40
2.2 知识结构	41
2.3 教学要求及时间分配	41
2.4 精讲内容	42
2.4.1 图与电路方程	42

2.4.2	2b 法和支路法	46
	思考与练习	47
2.4.3	回路法	47
2.4.4	网孔法	49
	思考与练习	52
2.4.5	节点法	53
	思考与练习	56
2.4.6	齐次定理和叠加定理	56
2.4.7	替代定理	60
	思考与练习	62
2.4.8	等效电源定理	63
2.4.9	互易定理	71
	思考与练习	73
2.5	本章小结	75
2.6	测试题	76
2.7	直流电阻电路分析讨论	79
第3章	动态电路时域分析	88
3.1	引言	88
3.2	知识结构	89
3.3	教学要求及时间分配	89
3.4	精讲内容	90
3.4.1	动态元件	90
	思考与练习	96
3.4.2	动态电路方程的建立及其解	97
3.4.3	电路的初始值	99
	思考与练习	101
3.4.4	动态电路的响应	103
	思考与练习	112
3.4.5	直流一阶电路的三要素法	113
	思考与练习	117
3.4.6	一阶电路的阶跃响应	118
3.4.7	正弦激励下一阶电路响应	121
	思考与练习	122
3.5	本章小结	123
3.6	测试题	124
3.7	动态电路时域分析讨论	127

第4章 正弦稳态分析	135
4.1 引言	135
4.2 知识结构	136
4.3 教学要求及时间分配	137
4.4 精讲内容	138
4.4.1 正弦量	138
4.4.2 正弦量的相量表示法	139
思考与练习	142
4.4.3 两类约束的相量形式	143
4.4.4 阻抗和导纳	147
思考与练习	149
4.4.5 正弦稳态电路的分析与计算	150
思考与练习	157
4.4.6 正弦稳态电路的功率	159
思考与练习	168
4.4.7 互感耦合电路	170
思考与练习	182
4.4.8 变压器	183
思考与练习	189
4.4.9 三相电路	190
思考与练习	197
4.5 本章小结	198
4.6 测试题	200
第5章 电路的频率响应和谐振现象	205
5.1 引言	205
5.2 知识结构	206
5.3 教学要求及时间分配	206
5.4 精讲内容	207
5.4.1 网络函数与频率响应	207
5.4.2 RC 电路的频率特性	209
思考与练习	212
5.4.3 RLC 串联谐振电路	213
思考与练习	217
5.4.4 GLC 并联谐振电路	217
5.4.5 实用的简单并联谐振电路	219
5.4.6 复杂谐振电路	222

思考与练习	224
5.5 本章小结	224
5.6 测试题	225
第 6 章 二端口网络	227
6.1 引言	227
6.2 知识结构	228
6.3 教学要求及时间分配	228
6.4 精讲内容	229
6.4.1 二端口网络	229
6.4.2 二端口网络的方程和参数	229
思考与练习	235
6.4.3 二端口网络的等效电路	236
6.4.4 二端口网络的联接	238
6.4.5 具有端接的二端口网络分析	240
思考与练习	245
6.5 本章小结	246
6.6 测试题	246
6.7 正弦稳态电路分析讨论	249
第 7 章 非线性电路	258
7.1 引言	258
7.2 知识结构	258
7.3 教学要求及时间分配	258
7.4 精讲内容	259
7.4.1 非线性元件	259
7.4.2 非线性电阻的串联和并联	261
7.4.3 非线性电阻电路的分析	261
7.4.4 小信号分析法	264
思考与练习	266
7.5 本章小结	267
7.6 测试题	267
附录 A 测试题参考答案	270
附录 B MATLAB 在电路分析中的应用	275
参考文献	288

电路的基本概念与定律

1.1 引言

1. 电路理论

电路理论起源于物理学中电磁学的一个分支。若从欧姆定律（1827年）和基尔霍夫定律（1845年）的发表算起，至今已有170多年的历史。电路理论融合了物理学、数学和工程技术等多方面的成果。物理学，尤其是其中的电磁学为研制各种电路器件提供了原理依据，对各种电路现象做出理论上的阐述；数学中的许多理论在电路理论中得到广泛的应用，成为分析、设计电路的重要方法；工程技术的进展不断向电路理论提出新课题，推动电路理论的发展。

电路理论是研究电路的基本规律及基本分析方法的工程学科。它通常包括电路分析和网络综合两个分支。电路分析指根据已知的电路结构和元件参数，求解电路的特性；网络综合是根据对电路性能的要求，确定合适的电路结构和元件参数，实现所需要的电路性能。另外，由于电子元件与设备的规模扩大，促进了故障诊断理论的发展，因而故障诊断理论被人们视为继电路分析和网络综合之后电路理论的又一个新的分支。

2. 课程地位和任务

“电路分析基础”课程是电子信息类专业的第一门专业基础课，它与先修课程“高等数学”、“电磁学”等密切相关，又是学习后续课程“信号与系统”、“电子电路”的基础。

电路理论的各个分支中，网络综合、故障诊断都以电路分析为基础，本课程“电路分析基础”即指电路分析这一分支，并且是最基本的内容。本书主要讨论电路分析的基本规律和电路的各种分析方法。电路分析基础课程理论严密、逻辑性强，有广阔的工程背景。通过本课程的学习，使学生掌握电路的基本理论知识、电路的基本分析方法和初步的实验技能，为进一步学习电路理论打下初步的基础，为学习后续课程准备必要的电

路知识。同时对培养学生严肃认真的科学作风和理论联系实际工程观点, 对培养学生的科学思维能力、分析计算能力、实验研究能力和科学归纳能力都有重要的作用。

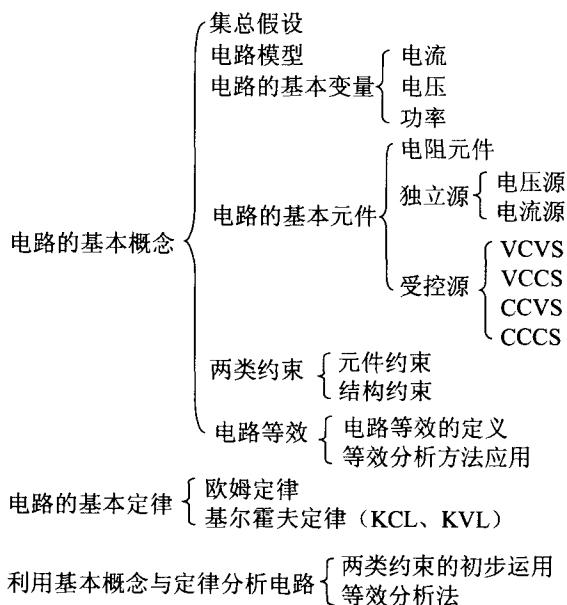
3. 课程的结构体系

课程的基本结构是以模型为基础, 以电阻电路分析、动态电路时域分析和正弦稳态电路分析为序的课程体系。其中第 1 章电路的基本概念与定律是后面几个部分内容的基

础, 起着至关重要的作用。

本章从电路模型概念出发, 主要介绍电路分析中的基本概念与定律、电路的基本变量、基本元件、简单电路分析、等效概念及其应用等。

1.2 知识 结 构



1.3 教学要求及时间分配

1. 教学要求

- (1) 掌握电路模型的概念, 理解集总假设。
- (2) 理解电流、电压、功率的定义, 理解电流、电压参考方向的概念, 掌握功率的计算方法。
- (3) 理解电阻元件、独立源、受控源的定义及其端口伏安关系。
- (4) 理解基尔霍夫电流定律 (KCL) 和电压定律 (KVL) 及其实质, 掌握 KCL 和 KVL 方程的列写方法。
- (5) 理解两类约束是电路分析的基本依据。

- (6) 掌握简单电路（单回路电路和单节点偶电路）的分析方法。
- (7) 理解电路等效的概念，掌握列写端口伏安关系的化简方法。
- (8) 掌握无源电阻网络、有源二端网络及含受控源网络的等效化简与计算。

2. 时间分配

建议用5讲（10学时）进行课堂教学。各讲知识点如下：

- 第1讲 实际电路与电路模型，电路基本变量。
- 第2讲 基尔霍夫定律，电路基本元件。
- 第3讲 网络等效概念，一些简单的等效规律和公式。
- 第4讲 等效分析方法应用。
- 第5讲 运算放大器。

1.4 精讲内容

1.4.1 实际电路与电路模型

1. 实际电路的组成

实际电路是由各种电气、电子元器件（如电阻器、电容器、线圈、开关、晶体管、电池等）按一定的方式相互连接而成的。通常包括三个部分：一是提供能量或信号的电源；二是用电装置，称为负载；三是连接电源与负载的导线、开关等中间环节。

2. 实际电路的功能

实际电路的功能可概括为两个方面：其一，进行电能的生产、传输、分配与转换，如电力系统中的发电、输配电线路等。其二，实现信号的产生、传递、变换、处理与控制，如电话、收音机、电视机电路等。

3. 电路模型

问题的提出：实际电路中使用的电路部件一般都和电能的消耗现象及电磁能的储存现象有关，这些现象交织在一起并发生在整个部件中。如果把这些现象或特性全部加以考虑，这对分析电路就带来了困难。因此，必须在一定条件下，忽略它的次要性质，用一个足以表征其主要电磁性能模型来表示，以便进行定量分析。

集总假设：当实际电路尺寸远小于其使用时最高工作频率所对应的波长时，可以定义出几种理想元件，用来构成实际部件的模型。这个条件即为集总假设。在这个条件下，每一种理想元件只反映一种基本电磁现象，其电磁过程都分别集中在各元件内部进行，且可由数学方法精确定义。例如，电阻元件表征消耗电能特性，电容元件表征储存电场能量的特性，电感元件表征储存磁场能量的特性。这三种理想元件模型如图1-1所示。

电路模型：电路模型是实际电路在一定条件下的科学抽象和足够精确的数学描述。

电路分析的对象不是实际电路,而是理想化的电路模型。电路理论中所说的电路是指由一些理想元件按一定方式连接组成的总体。

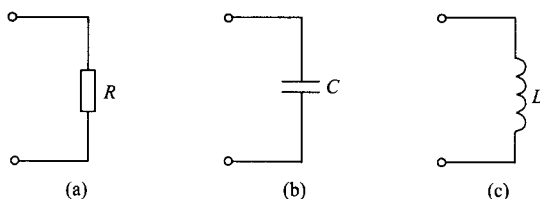


图 1-1

不同的实际部件,只要具有相同的主要电磁性能,在一定条件下可用同一个模型表示。同一个实际部件在不同的条件下,它的模型也可以有不同的形式。例如,实际电感器在不同条件下的模型如图 1-2 所示。

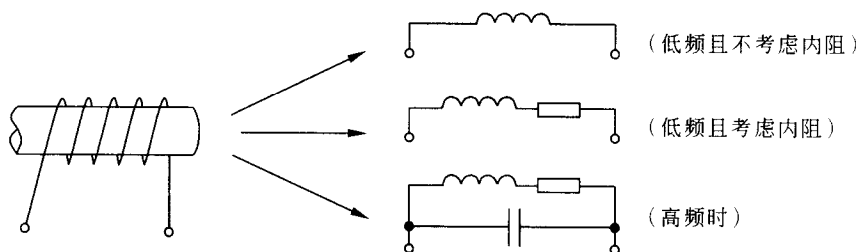


图 1-2

将实际电路中各个部件用其模型表示,这样画出的图即可得到实际电路的电路模型,也称电路原理图。

4. 电路分析的方法

电路的分析方法:对从实际电路抽象出来的电路模型,选择电路变量,建立电路方程,求得电路响应,分析电路性能。

1.4.2 电路的基本变量

问题的提出:电路分析能够得出给定电路的电性能。电路的电性能通常可以用一组表示时间函数的变量来描述,电路分析的任务在于给定电源(激励)解得这些变量(响应)。从根本上说,电荷与能量是描述电现象的基本变量或原始变量,为便于描述电路,从电荷和能量引入了电路的基本变量:电流、电压和功率。它们都易于测定,其中功率又可由电压、电流算得。因此,电路分析问题,往往侧重于求解电流和电压。

1. 电流

电荷有规则的定向运动,形成传导电流。金属导体中的大量自由电子,在外电场的