

江苏高校品牌专业建设工程资助项目

电子技术

(第二版)

刘海春 主编



科学出版社

电子技术

(第二版)

刘海春 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书由模拟电子技术和数字电子技术构成,其中模拟电子技术包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、信号发生电路、直流稳压电源等;数字电子技术包括组合逻辑电路、时序逻辑电路及模/数、数/模转换电路等。

本书可作为普通高等学校非电类(如机械类)专业本科生的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/刘海春主编. —2版. —北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051477-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 001610 号

责任编辑:余 江 张丽花/责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍 兵/封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年1月第 二 版 印张:17 1/4

2017年1月第一次印刷 字数:417 000

定价:39.80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书第一版(董尔令主编)于 2006 年 1 月出版发行,至今已经历十年。在此期间,电子技术的发展突飞猛进,学科前沿日新月异,以电子信息技术为基础支撑的互联网正日益深刻地改变着整个社会。同时,随着 2013 年我国加入国际本科工程学位互认协议——《华盛顿协议》,高校工科课程教学对教材的要求也发生了明显的变化。因此,有必要对教材进行修订、完善,以适应新形势的需要。

本书是根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会于 2005 年新修订的“电子技术基础课程教学基本要求”,在第一版的基础上完善、提高而编写的。

与第一版相比,第二版在强化基础知识、基本概念的同时,更加突出工科课程的工程应用及背景,具体修订如下:

(1)增加了“绪论”部分,使读者对电子技术有一个全面的了解。

(2)将二极管、三极管、场效应管及晶闸管等内容集中于第 1 章,便于学生理解及比较。同时将“晶闸管整流电路”调整至“直流稳压电源”,删除“晶闸管及其应用”一章,以体现内容的完整性、统一性。

(3)删除“存储器和可编程逻辑器件”一章。考虑到大部分高校已开设可编程逻辑器件的必修或选修课,在本书中单列此部分内容已无太大的必要。

(4)重点压缩“分立元件放大电路”的篇幅,适度删减部分章节的习题,同时增加了基于芯片的电路分析、设计的内容,以体现现代工程模块化、集成化的设计应用思想。

(5)除绪论及第 7 章之外,在每一章的起始部分,增加了一节“发展历史”,可使学生了解课程内容的相关历史背景;此外,从第 2 章开始,每章的末尾均安排了“工程应用”,有助于学生了解学科知识的工程应用,提高理论联系实际的能力。

(6)针对一些重要的知识点,结合数字化出版技术,设计了二维码辅助教学栏目,使教材的导学功能从平面走向立体。全书共提供了 13 个教学视频,其中包括数个在全国以及省级教学比赛中获奖的教学片段,这些视频从知识进化的角度,力图对一些复杂知识点进行底层还原,体现了研究性教学的内在要求,将为读者的学习提供有效帮助。

(7)根据不同专业的需求,对教材内容进行了区分标识。

(8)增加了基于 EDA 软件的仿真教学内容。

由于非电类专业众多,对电子技术的要求也各不相同,为方便各专业的教学,将本书的内容分为三类。

(1)基本内容:教学基本要求所规定的内容。

(2)选讲内容(标以“*”) :如场效应管、波形发生电路等,适合机电类专业。

(3)拓展性内容(标以“Δ”) :如非正弦信号发生器、模/数转换器等,适合对电子技术

学科有较高要求的教学对象。

本书第 0、1、2 章由刘海春编写，第 3 章由罗运虎编写，第 4、5 章由金艳编写，第 6 章由翁晓光编写，第 7 章由郭健编写，第 8 章由王勤编写。本书所有二维码视频均由刘海春负责录制。

在编写本书的过程中，得到了第一版作者的热情指导，并参考了许多教材、论文的内容，在此一并表示感谢！

由于作者水平有限，难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作者信箱：nuaalhc@nuaa.edu.cn

作 者

2016 年 10 月

目 录

前言	
第 0 章 绪论	1
0.1 信号	1
0.2 模拟电路	2
0.3 数字电路	2
0.4 电子设计自动化软件介绍	3
第 1 章 半导体器件	7
1.1 发展历史	7
1.1.1 真空二极电子管	7
1.1.2 真空三极电子管	8
1.1.3 第一台电子管计算机	8
1.1.4 半导体二极管	9
1.1.5 半导体三极管(晶体管)	9
1.2 半导体的基本知识	10
1.2.1 本征半导体	11
1.2.2 杂质半导体	11
1.3 PN 结及其单向导电性	12
1.3.1 PN 结的形成	13
1.3.2 PN 结的单向导电性	13
1.4 半导体二极管	14
1.4.1 基本结构	14
1.4.2 伏安特性	15
1.4.3 主要参数	15
1.4.4 含二极管电路的分析计算	16
1.4.5 稳压二极管	17
1.5 半导体三极管	18
1.5.1 基本结构	18
1.5.2 放大原理	19
1.5.3 特性曲线	21
1.5.4 主要参数	22
1.6 场效应管*	24
1.6.1 N 沟道增强型绝缘栅场效应管	24
1.6.2 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	26
1.7 晶闸管 [△]	28

1.7.1	基本结构	28
1.7.2	工作原理	29
1.7.3	伏安特性	30
1.7.4	主要参数	31
	习题	32
第2章	基本放大电路	35
2.1	发展历史	35
2.2	基本放大电路的组成及工作原理	36
2.2.1	基本放大电路的组成	36
2.2.2	电路的工作原理	37
2.3	放大电路的静态分析	38
2.3.1	估算法	38
2.3.2	图解法	39
2.4	放大电路的动态分析	40
2.4.1	图解法	40
2.4.2	微变等效电路法	44
2.5	静态工作点的稳定	48
2.5.1	温度对静态工作点的影响	49
2.5.2	分压式偏置放大电路	49
2.6	射极输出器——共集电极放大电路	52
2.6.1	静态分析	52
2.6.2	动态分析	53
2.6.3	射极输出器的特点和用途	55
2.7	场效应管放大电路*	56
2.8	多级放大电路及频率特性	58
2.8.1	多级放大电路的耦合方式	59
2.8.2	阻容耦合多级放大电路的分析	59
2.8.3	阻容耦合放大电路的频率特性	61
2.9	放大电路中的负反馈	62
2.9.1	反馈的基本概念	62
2.9.2	反馈的分类	64
2.9.3	交流负反馈对放大电路工作性能的影响	67
2.10	差动放大电路*	70
2.10.1	直接耦合放大电路	70
2.10.2	基本差动放大电路	72
2.10.3	典型差动放大电路	74
2.11	功率放大电路*	77
2.11.1	功率放大电路的一般问题	78
2.11.2	互补对称放大电路	79

2.12 工程应用	82
习题	83
第3章 集成运算放大器	90
3.1 发展历史	90
3.2 集成运算放大器简介	91
3.2.1 集成运算放大器的特点	91
3.2.2 集成运算放大器的基本组成	91
3.2.3 集成运算放大器的主要技术参数	93
3.2.4 理想集成运算放大器	94
3.3 基本运算电路	96
3.3.1 比例运算电路	96
3.3.2 加减运算电路	99
3.3.3 积分和微分运算电路	101
3.4 有源滤波器*	105
3.4.1 滤波器的作用和分类	105
3.4.2 有源低通滤波器的工作原理	106
3.4.3 有源高通滤波器的工作原理	107
3.5 采样保持电路*	108
3.6 电压比较器	109
3.6.1 单门限电压比较器	109
3.6.2 滞回电压比较器*	111
3.7 集成运放的使用	112
3.8 工程应用	114
3.8.1 同相比例运算电路的应用	114
3.8.2 滤波器的应用	115
3.8.3 采样保持电路的应用*	116
3.8.4 单门限比较器的应用	116
习题	117
第4章 信号发生电路	125
4.1 发展历史	125
4.2 正弦波振荡电路	126
4.3 RC 正弦波振荡电路	128
4.4 LC 正弦波振荡电路	129
4.4.1 变压器反馈式振荡电路	129
4.4.2 三点式振荡电路	130
4.5 石英晶体正弦波振荡电路 [△]	131
4.6 非正弦信号发生器*	133
4.6.1 矩形波发生电路	133
4.6.2 三角波发生电路	134

4.6.3 锯齿波发生电路	135
4.7 工程应用	135
4.7.1 调频无线话筒电路	135
4.7.2 RC 振荡电路仿真	136
习题	137
第 5 章 直流稳压电源	140
5.1 发展历史	140
5.2 整流滤波电路	140
5.2.1 单相半波整流电路	140
5.2.2 单相桥式整流电路	142
5.2.3 三相桥式整流电路	144
5.2.4 滤波电路	146
5.3 单相可控整流电路 [△]	149
5.3.1 单相半波可控整流电路	149
5.3.2 单相半控桥式整流电路	151
5.4 直流稳压电路	152
5.4.1 稳压管稳压电路	152
5.4.2 线性稳压电源	154
5.4.3 开关稳压电源 [△]	157
5.5 工程应用	160
5.5.1 串联型线性稳压源实用设计	160
5.5.2 电饭煲的电源供电电路	161
习题	162
第 6 章 门电路和组合逻辑电路	164
6.1 发展历史	164
6.2 数字电路基础	165
6.2.1 数字电路的工作信号	165
6.2.2 晶体管的开关作用	166
6.3 分立元件门电路	168
6.3.1 二极管与门电路	168
6.3.2 二极管或门电路	169
6.3.3 晶体管非门电路	170
6.3.4 复合门电路	171
6.4 TTL 集成门电路	172
6.4.1 TTL 与非门电路	172
6.4.2 集电极开路与非门*	176
6.4.3 三态输出与非门*	177
6.5 MOS 集成门电路 [△]	178
6.5.1 CMOS 非门	178

6.5.2	CMOS 与非门	179
6.5.3	CMOS 或非门	179
6.5.4	CMOS 传输门	179
6.6	集成门电路使用注意事项	180
6.6.1	CMOS 门和 TTL 门的接口 Δ	180
6.6.2	TTL 和 CMOS 电路带负载时的接口问题	181
6.6.3	多余输入端的处理	182
6.7	逻辑代数	182
6.7.1	逻辑代数运算法则	182
6.7.2	逻辑函数的表示方法	184
6.7.3	逻辑函数的化简	185
6.8	组合逻辑电路的分析和设计	189
6.8.1	组合逻辑电路的分析方法	189
6.8.2	组合逻辑电路的设计方法	190
6.9	加法器	191
6.9.1	半加器	191
6.9.2	全加器	192
6.10	编码器	193
6.10.1	二进制编码器	193
6.10.2	二-十进制编码器 (BCD 编码器)	194
6.10.3	优先编码器	195
6.11	译码器	197
6.11.1	二进制译码器	197
6.11.2	二-十进制译码器	199
6.11.3	二-十进制显示译码器	200
6.12	数据分配器和数据选择器*	202
6.12.1	数据分配器	202
6.12.2	数据选择器	203
6.13	比较器 Δ	205
6.14	组合逻辑电路中的竞争冒险 Δ	205
6.15	工程应用	206
6.15.1	双控开关电路	206
6.15.2	动态显示电路	207
6.15.3	水位检测电路	208
	习题	209
第 7 章	触发器和时序逻辑电路	213
7.1	双稳态触发器	213
7.1.1	基本触发器	213
7.1.2	同步 RS 触发器	214

7.1.3	主从 JK 触发器	216
7.1.4	维持阻塞 D 触发器	217
7.1.5	CMOS D 触发器	218
7.1.6	触发器的直接置位和直接复位	219
7.1.7	触发器逻辑功能的转化	219
7.1.8	触发器功能仿真分析	221
7.2	寄存器*	222
7.2.1	数码寄存器	222
7.2.2	移位寄存器	222
7.2.3	寄存器功能仿真分析	223
7.3	计数器	224
7.3.1	同步计数器	224
7.3.2	异步计数器	226
7.3.3	集成计数器	228
7.3.4	环形计数器*	231
7.3.5	计数器功能仿真分析	232
7.4	单稳态触发器*	233
7.5	多谐振荡器 ^Δ	234
7.6	555 集成定时器及其应用 ^Δ	235
7.6.1	用 555 定时器组成的单稳态触发器	236
7.6.2	用 555 定时器组成的多谐振荡器	237
7.6.3	用 555 定时器组成单稳态触发器仿真分析	238
7.6.4	用 555 定时器组成多谐振荡器仿真分析	239
7.7	工程应用	240
7.7.1	简易催眠器	240
7.7.2	八路彩灯控制	240
	习题	241
第 8 章	数/模和模/数转换器 ^Δ	245
8.1	发展历史	245
8.2	数/模转换器	246
8.2.1	T 形电阻网络 DAC	246
8.2.2	倒 T 形电阻网络 DAC	247
8.2.3	DAC 的主要技术指标	248
8.2.4	集成 DAC 单元介绍举例	249
8.3	模/数转换器	251
8.3.1	逐次逼近型 ADC	251
8.3.2	双积分型 ADC	253
8.3.3	ADC 的主要技术指标	255
8.3.4	集成 ADC 芯片	255

8.4 工程应用258

8.4.1 ADC 与单片机的接口258

8.4.2 DAC 与单片机的接口260

习题260

参考文献262

第0章 绪 论

内容概要: 电子技术(Electronics)包括模拟电子技术(Analog Electronics)和数字电子技术(Digital Electronics)。模拟电子技术主要涉及模拟信号的处理、变换及产生等,数字电子技术则针对的是数字信号的逻辑分析、运算等。在模拟电子电路和数字电子电路之间,则是数/模转换和模/数转换电路。此外,在电路的设计过程中,仿真是重要的一环,学习者应掌握至少一门电路仿真软件的使用方法。

重点要求: 了解信号、模拟电路和数字电路的基本概念,模拟信号与数字信号的转换,以及电路设计仿真软件的使用方法。

0.1 信 号

在自然界中,存在着各种各样的信号,如温度、压力、速度等,这些大部分都是非电信号,为方便处理,通常需要采用传感器将其转换成相应的电信号,由此便产生了各类传感器,如温度传感器、压力传感器、速度传感器等。信号的形式多种多样,根据是否周期性变化,

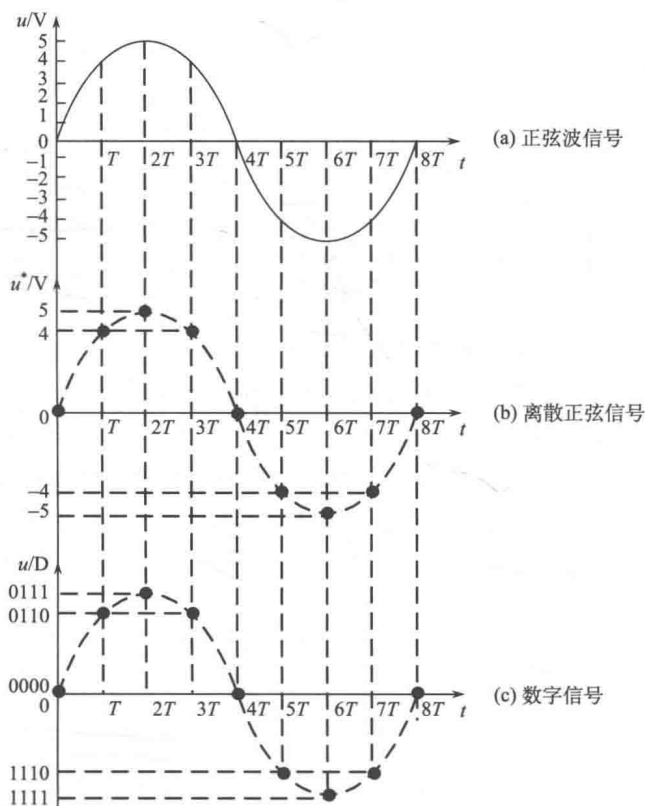


图 0-1-1 信号波形

可分为周期信号和非周期信号；根据信号出现的确定性与否，可分为随机信号和确定信号；根据信号在时间域及幅值特征的连续性与否，可分为模拟信号和数字信号，其中前者是指在时间上连续且幅值也连续的信号，如典型的正弦波信号，后者则是在时间上离散且幅值也离散的信号，介于两者之间的则称为中间信号(或离散信号)，如图 0-1-1 所示。

0.2 模拟电路

模拟电路是处理模拟信号的电路，主要有信号放大及调理电路、信号发生电路及直流稳压电源电路等。

一般而言，传感器输出的电信号是很微弱的，如话筒振动传感器将声波的振动转换为电压信号，其幅值仅为毫伏级。为了驱动负载，需要将微弱的信号放大，由此便产生了信号放大电路，其放大过程如图 0-2-1 所示。此外，在传感器输出的信号中，不可避免地混杂着其他噪声信号，为了得到有用的输出信号，需要加入滤波等信号调理电路，如图 0-2-2 所示。

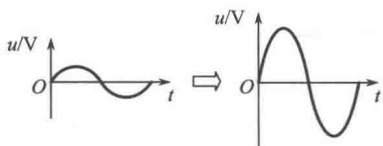


图 0-2-1 信号放大

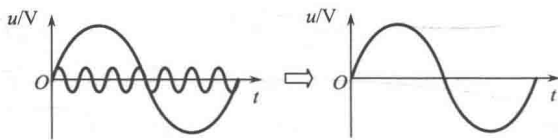


图 0-2-2 信号调理

早期，信号放大及调理电路均由分立元件(即一个个二极管、三极管、电阻、电容等)构成，体积庞大，稳定性差。在 20 世纪 50 年代，由于半导体技术的进步，使得在一块晶片上制作数量众多的元器件成为可能，并由此产生了集成电路(Integrated Circuit, IC)。集成电路的出现是电子技术发展史上的一座里程碑，它极大地推动了现代信息社会的快速发展。将由分立元件构成的放大电路集成到一块芯片上，便构成了集成运算放大器(Operational Amplifier, OA)。集成运放在现代电子电路中占有极为重要的位置，也是模拟电路的基本单元。

在电路系统中，经常需要产生特定频率、幅值的信号，如用于电路测试的正弦波信号，给交通灯提供时基的脉冲信号等。实现这一功能的电路称为信号发生电路，如正弦波信号发生电路、三角波信号发生电路、方波信号发生电路等。

无论是电路还是电器设备，通常都需要直流稳压电源，如笔记本电脑、直流电机等。直流稳压电路就是用来获取稳定的直流电压，主要有两种：一是将交流电(Alternating Current, AC)转换为直流电(Direct Current, DC)，还有一种则是将直流电压进行升压或降压。

0.3 数字电路

数字电路是处理数字信号的电路，用以完成对数字信号的逻辑运算、逻辑分析、转换及控制等，主要有组合逻辑电路、时序逻辑电路及模/数(Analog/Digital, A/D)转换、数/模(D/A)转换电路等。

与模拟电路类似，数字电路中也有输入和输出信号，只不过这些信号是低电平或高电平，

对应着“0”或“1”的变量。在数字电路中，组合逻辑电路在逻辑功能上的特点是任意时刻的输出仅仅取决于该时刻的输入，与电路原来的状态无关，如电梯控制电路；而时序逻辑电路输出不仅取决于当时的输入信号，而且还取决于电路原来的状态，或者说，还与电路之前的输入有关，如交通灯控制系统。

介于模拟电路和数字电路之间的，则是中间电路，或者采样电路，用以实现对连续信号的离散化处理。为了将离散化的信号与数字信号对应起来，需要模/数转换电路。而对于快速变化的信号，往往还要引入保持电路以匹配后续的模/数转换电路。在实际中，电路最终输出的往往是模拟信号，如手机扬声器输出的声音信号，为了将数字信号转换为模拟信号，需要数/模转换电路。

通常，为方便分析，将模/数转换电路和数/模转换电路统一归类至数字电路中。

0.4 电子设计自动化软件介绍

随着计算机技术的飞速发展，电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术在电路设计、分析及计算中起着越来越重要的作用。目前发达国家已经基本上不存在电子产品的手工设计。一台电子产品的设计过程，从概念的确立，到包括电路原理、建模、PCB版图、编程、热稳定分析、电磁兼容分析在内的物理级设计，再到PCB布线、自动贴片、总装配图等生产所需资料等全部在计算机上完成。EDA技术借助计算机存储量大、运行速度快的特点，可对设计方案进行人工难以完成的模拟评估、设计检验、设计优化和数据处理等工作。EDA已经成为集成电路、印制电路板、电子整机系统设计的主要技术手段。熟练地使用EDA工具，在设计起始阶段就能够发现方案设计和参数计算的重大错误，在产品开发过程中，辅之以精确的建模和仿真，可以替代大量的实际调试工作，节约可观的人力和物力投入，极大地提高开发效率。

在我国高校电子电路课程的教学体系中，目前已基本形成“理论教学—EDA—硬件实验”的教学模式。因此，对于初学者，有必要熟练掌握一门电路仿真软件的使用方法。

1. Multisim

Multisim是美国国家仪器有限公司(NI)推出的以Windows为操作系统的仿真软件工具，适用于各类模拟/数字电路的设计。Multisim包含了电路原理图的图形、电路硬件描述语言等输入方式，具有强大的设计及仿真分析功能。Multisim用软件的方法虚拟电子与电工元器件、仪器和仪表，实现了“软件即元器件”“软件即仪器”。

以Multisim 10为例，其元器件库提供数千种电路元器件供实验选用，同时也可以新建或扩充已有的元器件库，而且建库所需的元器件参数可以从生产厂商的产品使用手册中查到，方便在工程设计中使用。

Multisim 10的虚拟测试仪器仪表种类齐全，有一般实验用的通用仪器，如万用表、函数信号发生器、双踪示波器、直流电源；还有一般实验室少有或没有的仪器，如伯德图仪、字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换器、失真仪、频谱分析仪和网络分析仪等。

Multisim 10具有较为全面的电路分析功能，可以完成电路的瞬态分析和稳态分析、时域和频域分析、器件的线性 and 非线性分析、电路的噪声分析和失真分析、离散傅里叶分析、电

路零极点分析、交直流灵敏度分析等，从而为设计人员分析电路的性能提供极大的便利。

Multisim 10 的主界面如图 0-4-1 所示。该软件界面清晰，操作简易，适于初学者掌握。



图 0-4-1 Multisim 主界面

2. Saber

Saber 仿真软件是美国 Synopsys 公司的一款 EDA 软件，被誉为全球最先进的系统仿真软件，是唯一的多技术、多领域的系统仿真产品，现已成为混合信号、混合技术设计和验证工具的业界标准。Saber 仿真软件可用于电子、电力电子、机电一体化、机械、光电、光学、控制等不同类型系统构成的混合系统仿真，为复杂的混合信号设计与验证提供了一个功能强大的混合信号仿真器。此外，该软件兼容模拟、数字、控制量的混合仿真，可以解决从系统开发到详细设计验证等一系列问题。

Saber 的主界面如图 0-4-2 所示。



图 0-4-2 Saber 主界面

Saber 软件更侧重于系统级的混合信号电路仿真，主要应用于开关电源领域的时域和频域仿真，对初学者也可以作为参考。

3. Matlab

Matlab 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 Matlab 和 Simulink 两大部分。

Matlab 是 matrix & laboratory 两个词的组合，意为矩阵工厂(矩阵实验室)。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言(如 C、Fortran)的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

Simulink 工具箱的功能是在 Matlab 环境下，把一系列模块连接起来，构成复杂的系统模型。在这其中，Power System (电力系统)仿真工具箱功能非常强大，可用于电路、电力电子系统、电动机系统、电力传输等领域的仿真，它提供了一种类似电路搭建的方法，用于系统的建模。

利用 Simulink，可以方便地搭建各类电路模型并进行仿真，如图 0-4-3 所示。

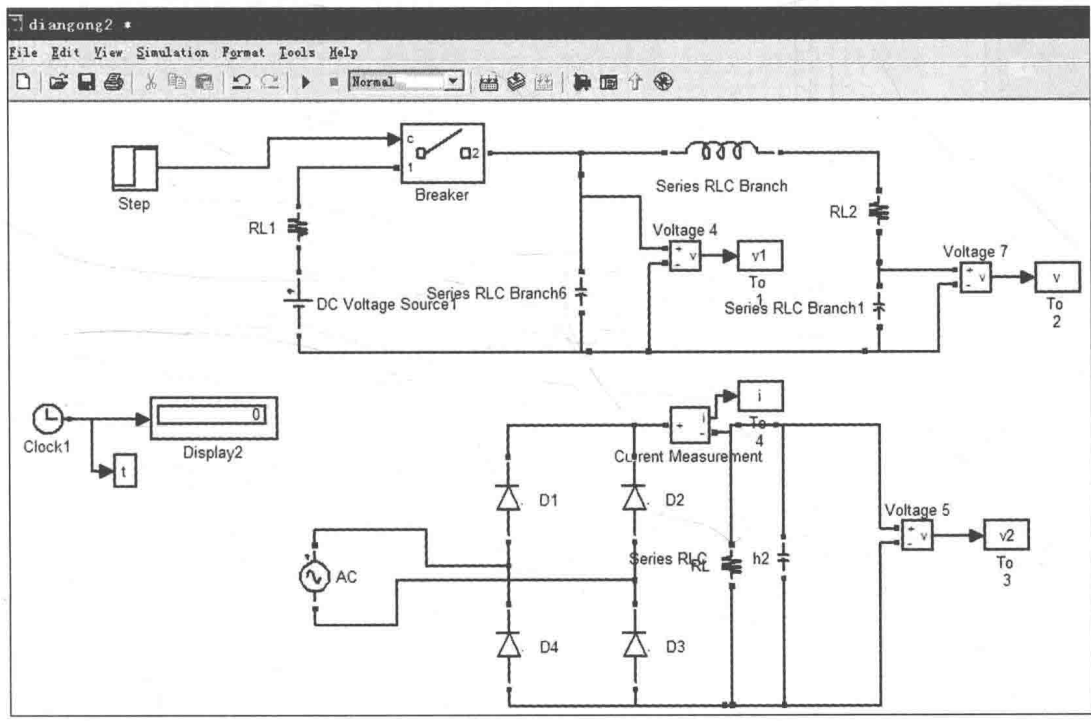


图 0-4-3 Simulink 主界面

4. Proteus

Proteus 软件是英国 Lab Center Electronics 公司推出的 EDA 工具软件。它不仅具有其他