

电力电子技术 仿真项目化教程

第二版

DianLi DianZi JiShu
FangZhen XiangMuHua JiaoCheng

主编 © 王波

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

ISBN 978-7-302-52117-7

第2版 (2016) 目次

电力电子技术 仿真项目化教程

(第二版)

王 波 主 编
郑鹏飞 李时辉 潘 磊 副主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

ISBN 978-7-302-52117-7
定价: 36.00元

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术仿真项目化教程 / 王波主编. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.1

ISBN 978-7-5682-1857-3

I. ①电… II. ①王… III. ①电力电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第 024417 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 710毫米 × 1000毫米 1/16

印 张 / 8

字 数 / 140千字

版 次 / 2016年1月第2版 2016年1月第1次印刷

定 价 / 36.00元

责任编辑 / 高 芳

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

电力电子技术是以电力为对象的电子技术，它是一门利用各种电力电子器件，对电能进行电压、电流、频率和波形等方面的控制和变换的学科。它包括电力电子器件、电力和控制三部分，是涵盖电力、电子和控制三大电气工程技术的交叉学科。

在对电力电子电路及系统进行分析的过程中，由于电力电子器件所固有的非线性等特点，使得分析较为困难。但随着 Matlab、Pspise、Saber、Multisim 等相关模拟仿真软件的出现，为电力电子电路及系统的分析提供了方便、有效的手段，大大简化了电力电子电路及系统的设计和分析过程，这些软件将各种功能子程序模块化，并提供完善的元件模型，使用户易于上手，只需简单的操作即可建立电路或系统的模型。这些优点使得模拟仿真软件成为广大用户在学习、研究和开发过程中的必备工具。而 Matlab 软件由于其 Simulink 环境下提供的“SimPowerSystems”工具箱在电力系统分析、电力电子电路分析中令人满意的表现、友好的界面和模块化的形式而受到用户的青睐。本书正是基于该软件，向读者详细介绍电力电子技术的仿真方法和技巧。

本书分为三部分，第一部分介绍 Matlab、Simulink 和 SimPowerSystems 的基本使用方法；第二部分介绍 Simulink 在电力电子器件特性测试方面的应用；第三部分介绍 Simulink 应用于单相相控整流电路、三相相控整流电路、晶闸管有源逆变电路、直流斩波电路、交流调压电路等典型电路的相关知识及仿真方法。本书力求通过实例及讲解，使读者掌握电力电子技术的相应知识及 Simulink 的仿真方法。本书的主要特点有：

- (1) 针对高等教育特点，突出理论联系实际，着重强调应用能力；
- (2) 在项目的选择上力求经典、简明、有代表性；
- (3) 按步骤指导，易于学习。

本书为《电力电子技术仿真项目化教程》的第二版，对原书的错误之处进行了修正，由王波、郑鹏飞、李时辉以及杭州皇控智能科技有限公司潘磊共同讨论编写与修订，王波负责全书的统稿和定稿。



电力电子技术仿真项目化教程

编写与修订过程中，本书参考了大量的国内外文献，主要的都已列举于参考文献部分，在此向所有作者表示感谢！

由于本书设计范围广，编者水平有限，难免会有疏漏和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

Simulink 基本操作指南	1
项目一 功率二极管特性测试	4
1.1 项目要求	4
1.2 仿真工具	4
1.3 电路原理	4
1.4 项目内容	4
1.5 具体步骤	5
1.6 总结分析	9
项目二 晶闸管特性测试	10
2.1 项目要求	10
2.2 仿真工具	10
2.3 电路原理	10
2.4 项目内容	10
2.5 具体步骤	11
2.6 总结分析	14
项目三 单相半波可控整流电路	15
3.1 项目要求	15
3.2 仿真工具	15
3.3 电路原理	15
3.4 项目内容	16
3.5 具体步骤	16
3.6 总结分析	23
项目四 单相桥式半控整流电路	24
4.1 项目要求	24
4.2 仿真工具	24
4.3 电路原理	24
4.4 项目内容	25
4.5 具体步骤	25
4.6 总结分析	34



项目五 单相桥式全控整流电路	35
5.1 项目要求	35
5.2 仿真工具	35
5.3 电路原理	35
5.4 项目内容	36
5.5 具体步骤	36
5.6 总结分析	45
项目六 三相半波可控整流电路	46
6.1 项目要求	46
6.2 仿真工具	46
6.3 电路原理	46
6.4 项目内容	47
6.5 具体步骤	47
6.6 总结分析	57
项目七 三相桥式半控整流电路	58
7.1 项目要求	58
7.2 仿真工具	58
7.3 电路原理	58
7.4 项目内容	59
7.5 具体步骤	59
7.6 总结分析	68
项目八 三相桥式全控整流电路	69
8.1 项目要求	69
8.2 仿真工具	69
8.3 电路原理	69
8.4 项目内容	69
8.5 具体步骤	70
8.6 总结分析	75
项目九 单相全控桥有源逆变电路	76
9.1 项目要求	76
9.2 仿真工具	76
9.3 电路原理	76
9.4 项目内容	76
9.5 具体步骤	77




9.6	总结分析	80
项目十	三相半波有源逆变电路	81
10.1	项目要求	81
10.2	仿真工具	81
10.3	电路原理	81
10.4	项目内容	82
10.5	具体步骤	82
10.6	总结分析	85
项目十一	三相全控桥有源逆变电路	86
11.1	项目要求	86
11.2	仿真工具	86
11.3	电路原理	86
11.4	项目内容	87
11.5	具体步骤	87
11.6	总结分析	90
项目十二	直流降压斩波电路	91
12.1	项目要求	91
12.2	仿真工具	91
12.3	电路原理	91
12.4	项目内容	91
12.5	具体步骤	92
12.6	总结分析	94
项目十三	直流升压斩波电路	95
13.1	项目要求	95
13.2	仿真工具	95
13.3	电路原理	95
13.4	项目内容	95
13.5	具体步骤	96
13.6	总结分析	98
项目十四	单相相控交流调压电路	99
14.1	项目要求	99
14.2	仿真工具	99
14.3	电路原理	99
14.4	项目内容	99



14.5	具体步骤	100
14.6	总结分析	105
项目十五	三相三线交流调压电路	106
15.1	项目要求	106
15.2	仿真工具	106
15.3	电路原理	106
15.4	项目内容	106
15.5	具体步骤	107
15.6	总结分析	110
附录	波形平均值测量方法	111
参考文献		113

Simulink 基本操作指南

仿真平台的建立。首先启动 MATLAB，进入 MATLAB 环境，点击工具栏中的 Simulink 选项 ，进入所需的仿真环境，如图 0-1 所示。点击 File/New/Model 新建一个仿真平台。

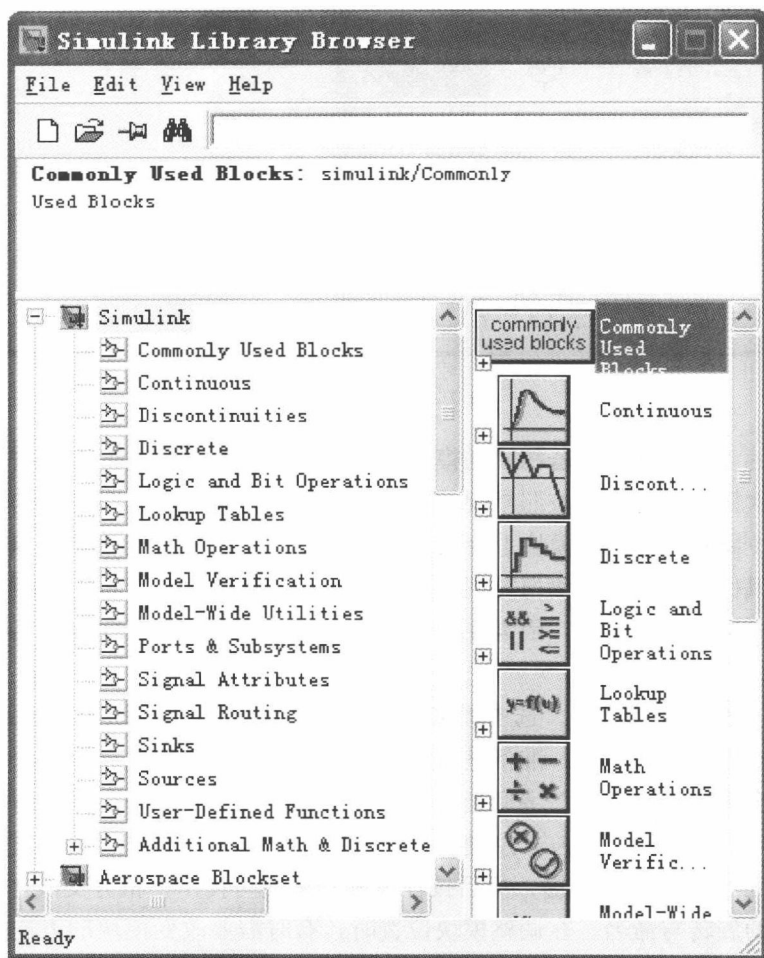


图 0-1 Simulink 仿真环境

模块的提取。在 Simulink 环境中拉取所需要的模块到 Model 平台中，具体做法是点击左边的器件分类，电力电子仿真实验一般只用到 Simulink 和 SimPowerSystems 两个，分别在它们的下拉选项中找到我们所需的模块，用鼠标点



击所需的模块不放，然后直接拉到 Model 平台中，如图 0-2 所示。

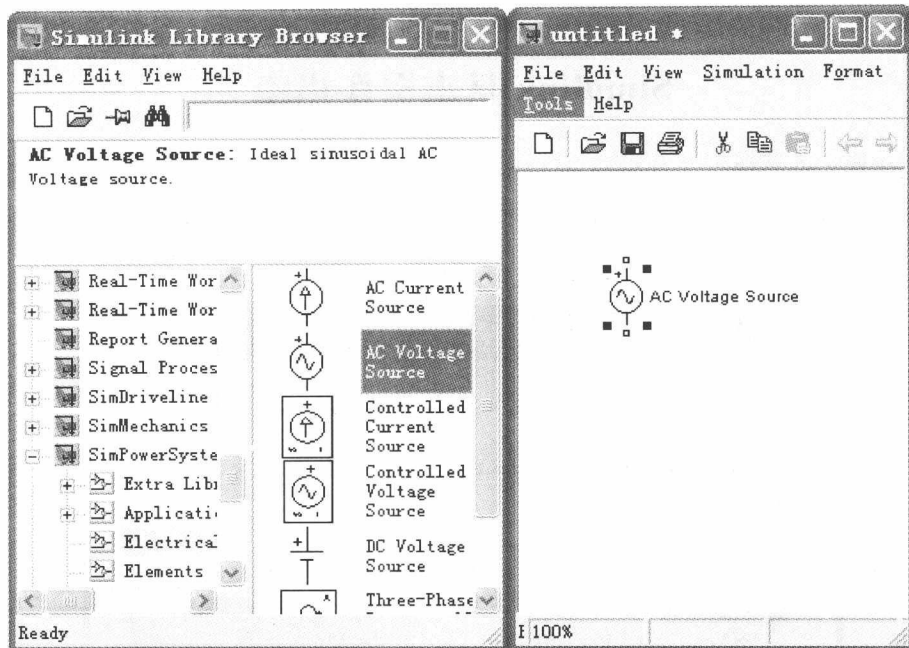


图 0-2 模块的提取

模块的复制和粘贴。若相同的模块在仿真中多次用到，我们可以按模块的提取方法多次提取，也可以按照常规方法进行复制和粘贴。在选中模块的同时按下 Ctrl 键拖拉鼠标，选中的模块上会出现一个小“+”符号，继续按住鼠标和 Ctrl 键，移动鼠标就可以将模块拖拉到模型的其他地方复制出一个相同的模块，同时该模块名后会自动加“1”，因为在同一仿真模型中，不允许出现两个名字相同的模块。

模块位置调整与连线。选中模块移动鼠标，便可以将模块拖拉至需要的位置。调整好模块的位置后，准备进行连线。具体做法是移动鼠标到一个模块的连接点上，会出现一个“+”字型光标，按住鼠标左键不放，一直拉到所要连接的另一个模块的连接点上，放开左键，连线就完成了。如果需要连接分支线，可在需要分支的地方按住 Ctrl 键，然后按住鼠标左键便可拉出一根分支线。

模块的旋转与命名。在调整模块位置时，有时需要改变模块的方向以便于接线，这时可以选中要改变方向的模块，使用 Format 菜单下的 Flip block 和 Rotate block 两条命令，前者改变水平方向，后者做 90° 旋转。也可以使用 Ctrl+R 来做 90° 旋转。双击模块旁的文字可以对模块进行命名，注意同一个仿真模型中不允许出现两个相同名字的模块，模块名原则上应使用英文。

模块参数设置。设置模块参数是保证仿真准确和顺利的重要一步，有些参数



由仿真任务规定，有些参数需要通过仿真确定。设置模块参数可以双击模块图标弹出参数设置对话框，然后按框中提示输入参数，如图 0-3 所示。

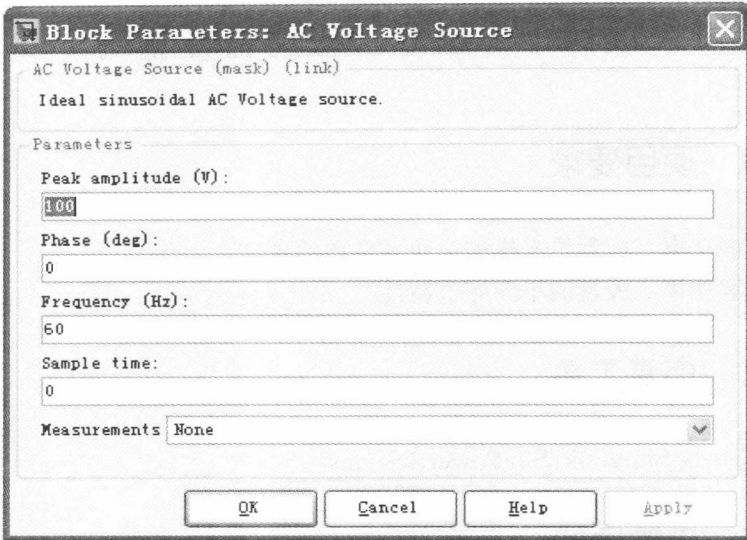


图 0-3 模块参数设置

仿真参数设置。在仿真开始时必须首先设置仿真参数。在菜单中选择 Simulation，在下拉菜单中选择 Configuration Parameters，在弹出的对话框中按提示和仿真要求输入参数，如图 0-4 所示。

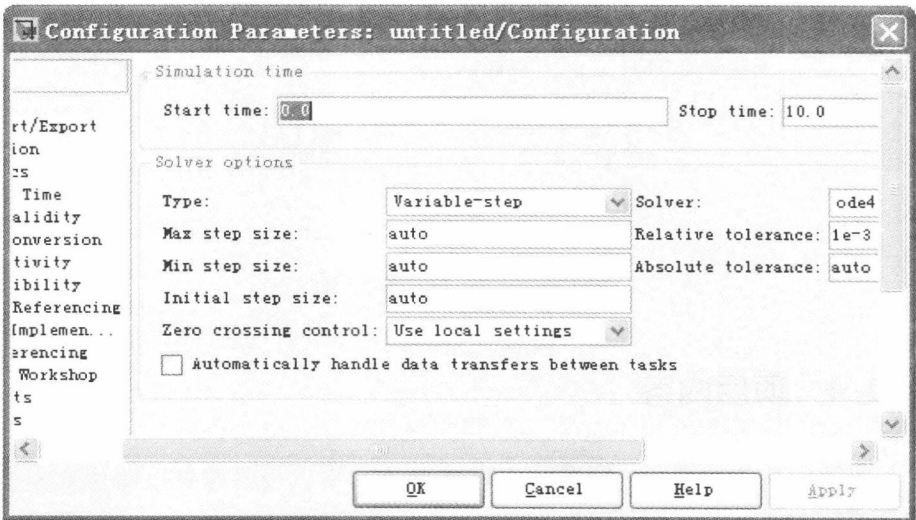


图 0-4 仿真参数设置

项目一 功率二极管特性测试



1.1 项目要求

1. 掌握功率二极管仿真模型模块各参数的含义。
2. 理解功率二极管的单向导电特性。



1.2 仿真工具

MATLAB/Simulink/SimPowerSystems



1.3 电路原理

功率二极管测试电路如图 1-1 所示。 u_2 为电源电压， u_d 为负载电压， i_d 为负载电流， u_{VD} 为功率二极管阳极与阴极间电压。

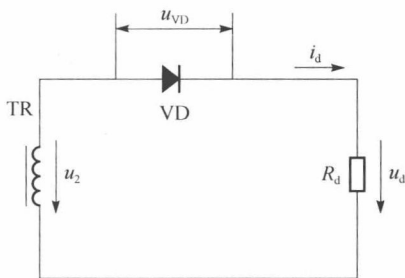


图 1-1 功率二极管测试电路



1.4 项目内容

1. 以图 1-1 为原理图，在 Simulink 中建立功率二极管测试电路仿真模型并进行仿真。
2. 利用 Simulink 中的示波器模块，显示 u_2 、 u_{VD} 、 u_d 和 i_d 的波形并记录。
3. 根据仿真结果分析功率二极管的导电特性。



1.5 具体步骤

1. 建立如图 1-2 所示的功率二极管测试电路仿真模型图，模型中需要的模块及其提取路径如表 1-1 所列。

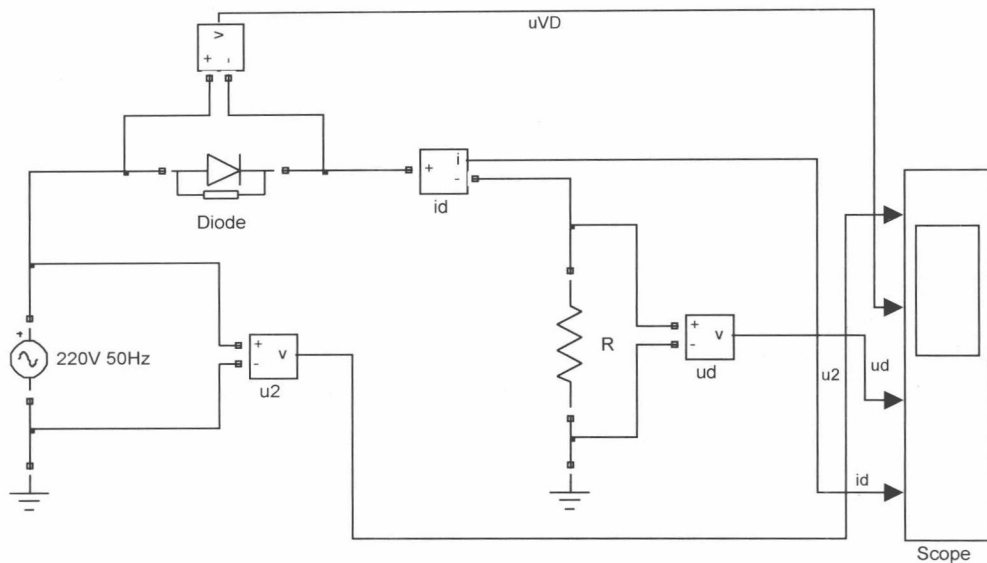


图 1-2 功率二极管测试电路仿真模型

表 1-1 模块名称及其提取路径

模块名称	提取路径
交流电压源	SimPowerSystems/Electrical Sources/AC Voltage Source
功率二极管	SimPowerSystems/Power Electronics/Diode
负载	SimPowerSystems/Elements/Series RLC Branch
接地端子	SimPowerSystems/Elements/Ground
电压表	SimPowerSystems/Measurements/Voltage Measurement
电流表	SimPowerSystems/Measurements/Current Measurement
示波器	Simulink/Sinks/Scope

2. 模块参数设置：交流电压源、负载的参数设置如图 1-3 和图 1-4 所示。当从模块库中拉出示波器模块时，示波器只有一个连接端子，即只能显示一路信号。这时需要增加示波器的接线端子，具体做法是双击示波器，弹出如图 1-5 所示的对话框。单击工具栏中的第二个小图标，即打印机图标旁边的图标，弹出如图 1-6 所示的第二个对话框。只要将 Number of axes 项中的“1”改成所需的端子数即可，本实验需要用到 4 个端子，我们把它改成“4”。注意图 1-6 对话框



还有一个 Data history 栏，点击后如图 1-7 所示，去掉 Limit data points to last 前面框中的勾，即取消只显示最后 5 000 个数据的限制。本实验中功率二极管可保持默认的参数设置。

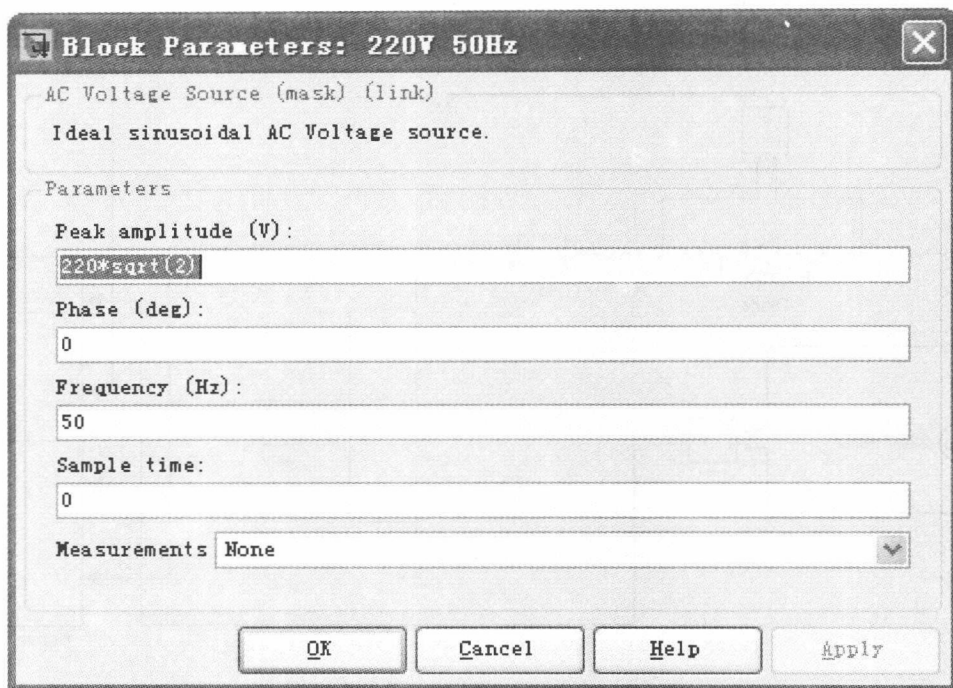


图 1-3 交流电压源参数设置

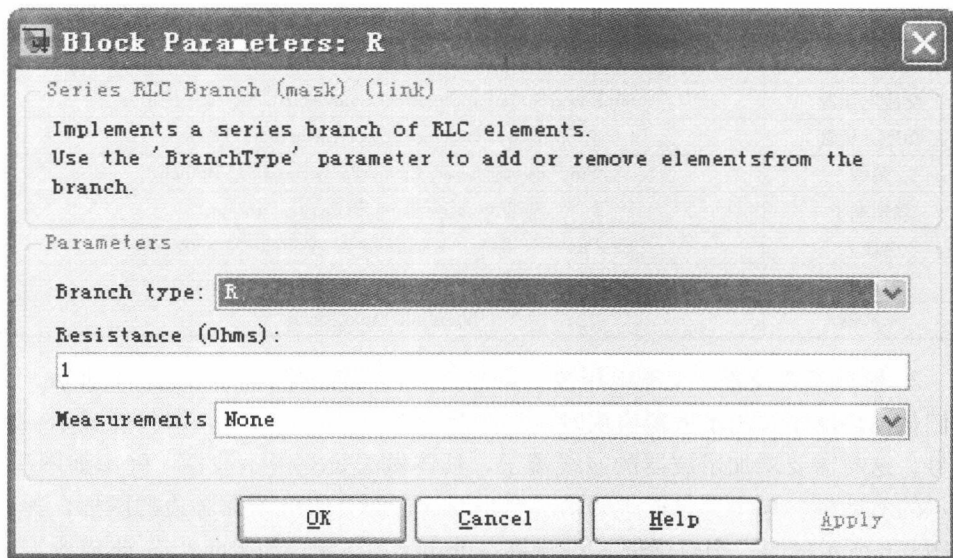


图 1-4 负载参数设置

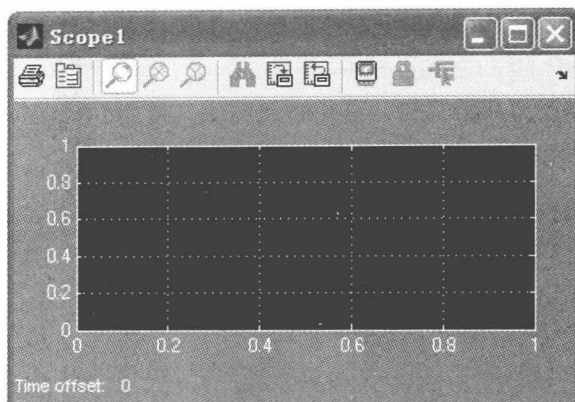


图 1-5 示波器窗口

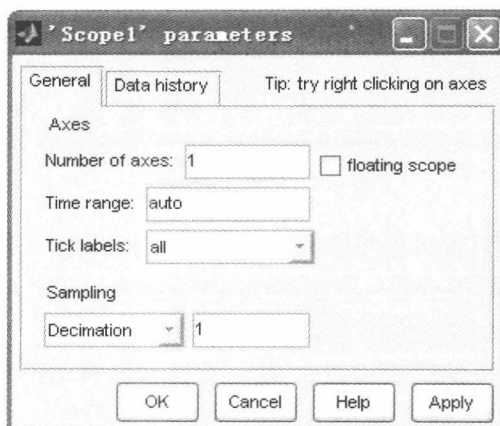


图 1-6 示波器对话框 General 栏

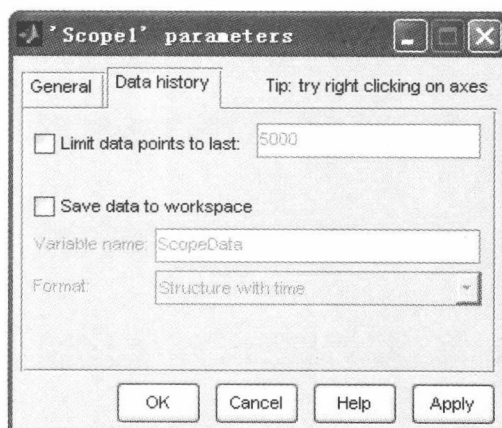


图 1-7 示波器对话框 Data history 栏



3. 仿真参数设置：仿真开始前必须设置仿真参数。在菜单中选择 Simulation，在下拉菜单中选择 Configuration Parameters，弹出的对话框如图 1-8 所示，我们主要设置的参数为开始时间、终止时间和仿真使用的算法。开始时间设置为“0”，终止时间设置为“0.1”，算法设置为“ode23tb”。

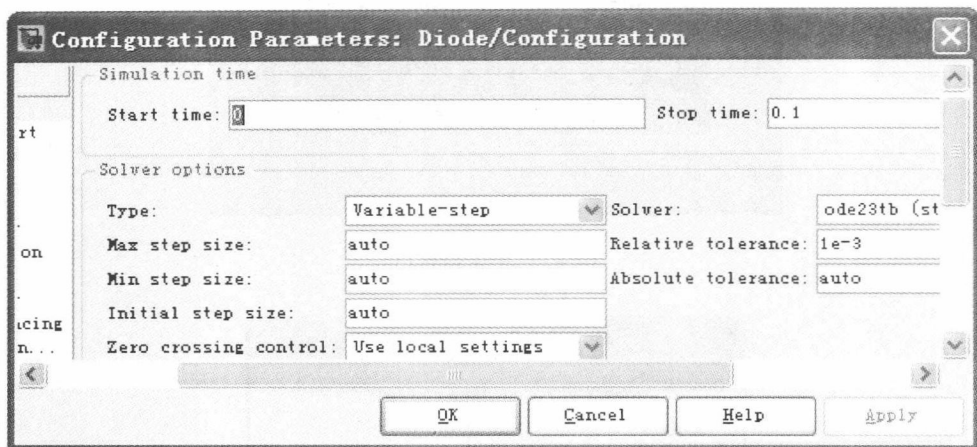


图 1-8 仿真参数设置

4. 完成以上步骤后便可以开始仿真，点击运行按钮开始仿真。在屏幕下方的状态栏可以看到仿真的进程。若需要中途停止仿真，可以点击停止按钮。仿真完毕后，可以双击示波器模块来观察仿真的结果。如果一开始观察不到波形，可以点击示波器工具栏的望远镜按钮，示波器会自动给定一个合适的坐标，观察到我们需要的波形。本实验的仿真波形如图 1-9 所示。

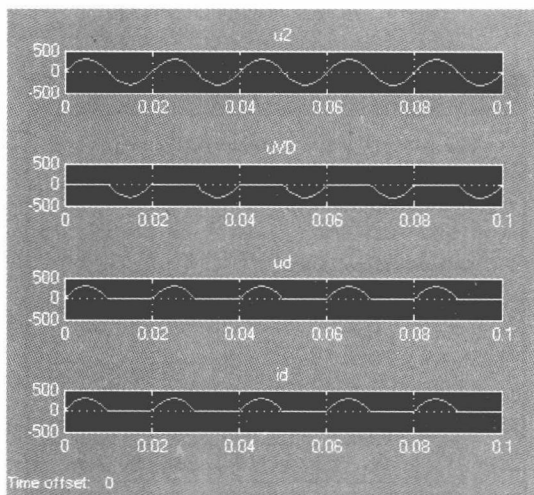


图 1-9 仿真波形