

MATLAB 在电力电子技术中的应用

摘 要

20 世纪 60 年代发展起来的电力电子技术,使电能可以交换和控制,产生了现代各种高效节能的新型电源和交直流调速装置,为工业生产,交通运输,楼宇办公家庭自动化提供了现代化的高新技术,提高了生产效率和人们的生活质量,使人类社会生产生活发生了巨大变化。

电力电子技术和电力拖动控制系统组合了电子电路电机拖动自动控制理论微机原理和应用等多学科知识,由于电力电子器件自身的非关联性,给电力电子电路和系统的分析了一定的复杂性和困难,一般常用波形分析和分段线性化处理的方法来研究电力电子电路。现代计算机仿真技术为电力电子电路和系统的分析提供了崭新的方法,可以使复杂的电力电子电路系统的分析和设计变得更加容易和有效。

MATLAB 软件是由美国 Math Works 公司推出的用于数值计算和图形处理的科学计算软件系统被誉为“巨人肩上的工具”MATLAB 早期主要用于控制系统的仿真,经过不断扩展已经成为包含通信电气工程优化控制等诸多领域的科学计算软件,可以用于电力电子电路和电力拖动控制系统的仿真。

因此本课题在 MATLAB 的基础上进行电力电子变流电路的仿真,运用现代仿真技术研究 and 比较各种电力电子变流电路。

关键词: MATLAB,电力电子技术,仿真

MATLAB in power electronics application

Abstract

In 1960, developed power electronics enable electrical energy to be possibly exchanged and controlled to produce modern electrical energy conservation power sources and alternative in direct speeders in industrial production, transportation, building, household automation, and provide modern high technology and raise production efficiency and people's quality of life, causing human society to produce life to have immense changes.

The power electronic and electrical drive control systems combine electronic circuits, electrical machinery, draggins, automation control theory, microcomputer principles and applications, and so on multi-disciplinary knowledge, a result of power electronic devices' non-relatedness to power electronic circuits and systems' analysis, certain complexity and difficulty, generally common use waveform analysis and partition, linearization, processing methods, study the power electronic circuit. The modern computer simulation technology has provided brand-new methods for power electronic circuit and systems' analysis, making the complex power electronic circuit systems' analysis and design become easier and more effective.

The MATLAB Corporation promotes by American Math Works uses in the numerical calculus and the graphic processing science computation software system is honored as "on the giant shoulder's tool" the MATLAB early time mainly to use in control system's simulation, passed through expands unceasingly already became contains the correspondence electrical engineering optimization control and so on many domains the science computation software, might use in the power electronics circuit and the electric drive control system's simulation.

This topic carries on the power electronics electron variable current electric circuit's

simulation in the MATLAB foundation, studies and compares each kind of power electronics electron variable current electric circuit using the modern emulation technique.

Key words: matlab, power electronics, simulation

目录

MATLAB 在电力电子技术中的应用	1
MATLAB in power electronics application.....	2
目录.....	4
1 绪论.....	6
1.1 关于 MATLAB 软件.....	6
1.1.1 MATLAB 软件是什么.....	6
1.1.2 MATLAB 软件的特点和基本操作窗口.....	7
1.1.3 MATLAB 软件的基本操作方法.....	10
1.2 电力电子技术.....	12
1.3 MATLAB 和电力电子技术.....	13
1.4 本文完成的主要内容.....	14
2 MATLAB 软件在电路中的应用.....	15
2.1 基本电气元件.....	15
2.1.1 基本电气元件简介.....	15
2.1.2 如何调用基本电器元件功能模块.....	17
2.2 如何简化电路的仿真模型.....	19
2.3 基本电路设计方法.....	19
2.3.1 电源功能模块.....	19
2.3.2 典型电路设计方法.....	20
2.4 常用电路设计法.....	21
2.4.1ELEMENTS 模块库.....	21
2.4.2POWER ELECTRONICS 模块库.....	22
2.5 MATLAB 中电路的数学描述法.....	22
3 电力电子变流的仿真.....	25
3.1 实验的意义.....	25
3.2 交流-直流变流器.....	25
3.2.1 单相桥式全控整流电路仿真.....	26
3.2.2 三相桥式全控整流电路仿真.....	38
3.3 三相交流调压器.....	53

3.3.1 无中线星形联结三相交流调压器.....	53
3.3.2 支路控制三角形联结三相交流调压器.....	59
3.4 交流-交流变频电路仿真	64
3.5 矩阵式整流器的仿真.....	67
结论.....	72
致谢.....	73
参考文献.....	74
附录 外文文献翻译.....	75

1 绪论

1.1 关于 MATLAB 软件

作为当今世界最流行的第四代计算机语言, MATLAB 软件语言系统, 由于它在科学计算, 网络控制, 系统建模与仿真, 数据分析, 自动控制, 图形图像处理航天航空, 生物医学, 物理学, 通信系统, DSP 处理系统, 财务, 电子商务, 等不同领域的广泛应用以及它自身所具备的独特优势, 目前 MATLAB 已备受许多科研领域的青睐与关注。

1.1.1 MATLAB 软件是什么

MATLAB软件是由美国公司MATH WORKS公司推出的用于数值计算和图形处理的科学计算系统。MATLAB的英文是MATRIX LABORATORY(矩阵实验室)的缩写, 被誉为“巨人肩膀上的工具”。由于使用MATLAB编程运算与人进行科学计算的思路和表达方式一直, 所以不像学习其他高级语言那样难于掌握, 用MATLAB编写程序有如在演算纸上排列出公式与求解问题。在这个环境下对所求解的问题, 用户只需要简单的列出数学表达式, 其结果便以数值或者图形方式显示出来。

最早开发MATLAB软件的目的就是帮助学校的老师和学生更好的授课和学习。从MATLAB诞生开始, 由于其高度的继承性和应用的方便性, 在高校中得到了广泛的应用与推广。由于它能非常快的实现科研人员的设想, 极大的节约了科研人员的时间, 受到了太多科研人员的重视与青睐。它可以很方便地设计出漂亮的界面, 例如它像VB一样可以设计出漂亮的用户接口,

同时因为它还具有最丰富的函数库，极易实现计算功能。另外MATLAB和其他高级语言也具有良好的接口，可以很方便地与其他语言实现混合编程，这都进一步拓宽了它的应用范围和使用领域。

在美国的一些大学里，MATLAB 软件正成为对数值，线性代数以及其他一些高等应用数学课程的辅助教学的有力工具；在工程技术界，MATLAB 也被用来构建与分析一些实际课程的数学模型，其典型的应用包括数值计算，算法预测与验证，以及一些特殊矩阵的计算应用，如自动控制理论，统计，数字信号处理，图像处理，系统辨识和神经网络等。它包括了被称为工具箱的各类应用问题的求解工具。工具箱实际上是对 MATLAB 软件进行扩展应用的一系列 MATLAB 函数，它可以用来求解许多科学门类数据处理与分析问题

1.1.2 MATLAB 软件的特点和基本操作窗口

在MATLAB环境下用户可以方便的进行程序设计，数值计算。图形绘制，输入输出，文件管理等各项操作。MATLAB提供了一个人机交互的数学系统环境，该系统的基本数据是矩阵，在生成矩阵对象时不要求做明确的维数说明。与利用C语言和FORTRAN语言作数值计算的程序设计相比利用MATLAB软件可以大量节省编程时间。它具有以下特色：

强大的数值和符号计算功能，计算功能强大，符号数值的各种形式和规模的计算都能完成，强大的矩阵运算能力以及稀疏矩阵的处理能力可以解决大型文体。MATLAB的数值计算功能包括矩阵运算，多项式和有理分式计算，数据系统分析，数值积分，优化处理等。

简单易学的语言。MATLAB除了命令行的交互式操作以外，

还可以程序方式工作，使用MATLAB可以很容易的实现C或FORTRAN语言的全部功能，包括WINDOWS图形用户界面的设计，并且编程语言简单易学。MATLAB程序可扩展性强，用户可编辑自己的工具箱。

强大的图形功能。MATLAB提供了两个层次的图形命令语句：一种是对图形进行低级通行出的命令语句；另一种是建立在低级图形命令之上的高级图形命令。利用MATLAB的高级图形命令可以轻易地绘制二维，三维乃至四维图形，可以进行图形和坐标的表示，视角和光照设计，色彩精细控制等等。

独具特色的应用工具箱。MATLAB应用工具箱分为基本工具箱，通用工具箱，专业工具箱。基本工具箱中有数百个内部函数，是其最核心的部分。通用工具箱主要用来扩充其符号计算功能，可视建模仿真功能及文字处理功能等。专业工具箱的专业性比较强，如控制系统电力系统，信号处理，神经网络，最优化，金融等工具箱，用户可以直接利用这些工具箱进行相关领域的科学研究。

MATLAB软件的常用窗口简介。

命令窗口（COMMAND WINDOWS）命令窗口是MATLAB软件最基本的窗口。缺省情况下位于MATLAB桌面的右侧。该窗口时运行各种MATLAB命令的最主要窗口。在该窗口内，可以以键入各种MATLAB命令，函数，表达式，并显示除图形形式外的运算结果。

历史命令窗口（COMMAND HISTORY）。历史命令窗口位于MATLAB操作桌面的左下侧。历史命令窗口记录用户在MATLAB命令窗口输入过的所有命令行。历史命令窗口可以用于单行或者多行命令的复制和运行，生成M文件等。使用方法如下。

左键选中单行或者多行命令，鼠标右键激活菜单单项，菜单单项中包括COPY,EVALUATE SELECTION和CREATE M FILE命令语句，

以及删除等命令。历史命令窗口也可以切换成独立窗口和嵌入窗口。

工作空间浏览器（WORKSPACE BROWSER）在缺省的情况下，当前目录浏览器位于MATLAB桌面的左上方前台，工作空间浏览器中可以查阅保存编辑内存或删除内存变量。选中变量，单击右键打开菜单项。菜单中OPEN命令可以在ARRAY EDITOR中打开变量。GRAPH命令可以选择适当的图形命令使变量可视化。

当前目录浏览器（CURRENT DIRECTORY BROWSER）缺省情况下，位于MATALB这么多左上方前台。点击CURRENT DIRECTORY即可在前台看到。选中文件可以完成打开或者运行M文件，装载数据文件等操作。

内存组数据编辑器（ARRAY EDITOR）利用内存组数据编辑器，可以输入大数组。首先在命令窗口创建新变量。然后在工作空间浏览器中双击该变量，在数据组编辑器中打开变量。在NUMERIC FORMAT中选择适当的数据类型，在SIZE中输入行数，即可得到一个大规模数据组。修改数组元素之，可以得到所需数组。这对于要将变量数据调出来，用其他软件绘制图形时特别有用。

M文件编辑器/调试器（EDITOR/DEBUGGER）对于简单的或一次性的问题，可以通过在命令窗口直接输入一组命令行去求解。当所需命令行较多或者需要重复使用一段命令时，就要用到M脚本编程。点击MATALB的下拉菜单项file→点击NEW→点击M-FILE,可以创建一个M文件；点击MATALB的下拉菜单项FILE,→点击OPEN,则可以打开一个M文件。

交互界面分类目录窗口（LAUNCH PAD）可以通过点击MATALB中菜单项VIEW, →点击LAUNCH PAD,打开交互界面分类目录窗口。该窗口可以展开的树状结构显示MATALB提供的所有交互界面，包括帮助界面，演示界面和各种应用交互界面。通过双击树结构上的分类图标，即可得到相应的交互界面。

帮助导航/浏览器（HELP NAVIGATOR/BROWSER）详尽展示又超文本写成的有关MATLAB的在线帮助。

1.1.3 MATLAB 软件的基本操作方法

(1).文件管理方法

例如MATLAB软件安装在X:\MATLAB下，每次启动MATLAB时该目录始终有效，因此要打开某个MATLAB文件，计算机都会从该默认的路径去查找文件，当然这个默认的路径可以不是当前操作的路径，为了方便最好把默认路径重新设置到需要的路径上去。

(2).灵活使用帮助系统

MATLAB的所有执行命令，函数的M文件都有一个注释区。该区域中纯文本形式简要的叙述该函数的调用格式和输入输入量含义。在命令窗口中运行help命令可以获得不同范围的帮助。

(3).基本绘图方法介绍

MATLAB提供了丰富的绘图功能。在命令窗口中键入help graph2d,便可以得到所有绘制二维图形的命令语句；在命令窗口输入 help graph3d便可以得到所有绘制三维图形的命令。

(4).资料的储存与载入方法

MATLAB储存变量的基本命令时SAVE, 如果不加任何选项时, SAVE会将变量与二进制的方式储存至后缀名为MAT的档案, (如*.MAT):

SAVE: 该命令将当前工作空间中所有变量储存到名为MATLAB.MAT的二进制档案。

SAVE D:\FLIENAME:

该命令将当前空间所有变量储存到d盘名为FILENAME.MAT的二进制档案。

SAVE D:\FILENAME X Y Z: 该命令将当前工作空间中的X,Y,Z储存到D盘名为FILENAME.MAT的二进制档案。

(6).一些注意事项:

MATLAB可同时执行数个命令语句，只需要以逗号或者分号将各个命令隔开。若要输入矩阵，必须在同一行结尾加上分毫“;”。若要检查当前工作共建的变量个数，可以键入WHO。若要知道变量的详细资料可以键入

“WHOS”。使用CLEAR可以删除工作空间的所用变量。使用CLC可以删除命令窗口中所有变量。使用CLF可以清除图形窗口中的图形。在英文输入状态下输入这些命令以免出错。

另外, MATLAB有些永久常数, 虽然在工作空间中看不到, 但使用者可以直接取用, 例如pi=3.1416; I或者j为基本虚数单位, eps为系统浮点计算相对精度; inf为无限大, 如1/0; nan为非数值, 如0/0。

(7).一些重要的系统命令如下表: 命令	含义	命令	含义
Help	在线帮助	ceho	命令回显
Helpwin	在线帮助窗口	Cd	改变当前的工作目录

Helpdesk	在线帮助工作台	Pwd	显示当前工作目录
----------	---------	-----	----------

Demo	运行演示程序	Dir	指定目录的文件清单
Ver	版本信息	Unix	执行unix命令
readme	显示readme文件	Dos	执行dos命令
Who	显示当前变量	!	执行操作系统命令
Whos	显示当前变量详细信息	computer	显示计算机类型
Clear	清除内存变量	What	显示指定MATLAB文件
Pack	整理工作间的内存	Lookfor	在HELP里搜索关键字
Load	把文件变量调入工作空间	Which	定位函数文件
Save	把变量存入文件中	Pach	获取或设置所搜目录
Quit/exit	退出MATLAB	Clc	清空命令窗口中的内容
Clf	清理图形窗口	Open	打开文件
Md	创建目录	More	使显示内容分页显示
Edit	打开M文件编辑器	Type	显示M文件的内容
whick	指出文件坐在目录		

表1-1 重要的MATLAB的系统命令

1.2 电力电子技术

电力电子技术是一门新兴的应用于电力领域的电子技术，就是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。电力电子技术所变换的“电力”功率可大到数百 MW 甚至 GW，也可以小到数 W 甚至 1W 以下，和以信息处理为主的信息电子技术不同电力电子技术主要用于电力变换。

电力电子技术分为电力电子器件制造技术和交流技术（整流，逆变，斩波，

变频, 变相等) 两个分支。

现已成为现代电气工程与自动化专业不可缺少的一门专业基础课, 在培养该专业人才中占有重要地位。

电力电子技术的重要作用

(1) 优化电能使用。通过电力电子技术对电能的处理, 使电能的使用达到合理、高效和节约, 实现了电能使用最佳化。例如, 在节电方面, 针对风机水泵、电力牵引、轧机冶炼、轻工造纸、工业窑炉、感应加热、电焊、化工、电解等 14 个方面的调查, 潜在节电总量相当于 1990 年全国发电量的 16%, 所以推广应用电力电子技术是节能的一项战略措施, 一般节能效果可达 10%-40%, 我国已将许多装置列入节能的推广应用项目。

(2) 改造传统产业和发展机电一体化等新兴产业。据发达国家预测, 今后将有 95% 的电能要经电力电子技术处理后再使用, 即工业和民用的各种机电设备中, 有 95% 与电力电子产业有关, 特别是, 电力电子技术是弱电控制强电的媒体, 是机电设备与计算机之间的重要接口, 它为传统产业和新兴产业采用微电子技术创造了条件, 成为发挥计算机作用的保证和基础。

1.3 (3) 电力电子技术高频化和变频技术的发展,将使机电设备突破工频传统,向高频化方向发展。实现最佳工作效率,将使机电设备的体积减小几倍、几十倍,响应速度达到高速化,并能适应任何基准信号,实现无噪音且具有全新的功能和用途。

1.4 (4) 电力电子智能化的进展,在一定程度上将信息处理与功率处理合一,使微电子技术与电力电子技术一体化,其发展有可能引起电子技术的重大改革。有人甚至提出,电子学的下一项革命将发生在以工业设备和电网为对象的电子技术应用领域,电力电子技术将把人们带到第二次电子革命的边缘。

1.5 MATLAB 和电力电子技术

电力电子技术是一门实践性较强的专业科学知识,基于 MATLAB 的虚拟实验的设计思想,开发出相应的仿真平台,既可用于模拟实验改善实验条件,又可以成为自学的辅助工具。基于 siltmulink 模块库,可以对电力系统的发电输电和用电三个方面进行建模与仿真,可以研究电力系统的安全和稳定运行,可以研究电动机的变频调速系统。

1.4 本文完成的主要内容

本文阐述了 MATLAB 在电力电子技术上的应用，给出了矢量控制的基本方程。

介绍了 MATLAB 软件的基本用法，以及 MATLAB 软件在电力电子技术上的应用上的方法。

最后，在 MATLAB 的基础上进行电力电子变流电路的仿真，运用现代仿真技术研究 and 比较各种电力电子变流电路。采用 MATLAB 对电力电子变流电路进行仿真研究，建立仿真模型提取电路元器件模块，将电路元器件按原理图连接起来组成仿真电路，设置模型参数，模型进行仿真。对各种电力电子变流电路进行研究比较。

2 MATLAB 软件在电路中的应用

2.1 基本电气元件

介绍 MATLAB 软件中 SIMPOWERSYSTEMS 里的典型元件库, 如电阻, 电容, 电感, 变压器, 开关器件等基本器件的调用方法; 重要电路的建模方法, 分析技巧与设计技术。

2.1.1 基本电气元件简介

(1) 对于一个简单电路而言, 要确保它正常工作, 需要包括以下集中或者全部元器件, 如电源, 电阻器, 电容器, 电感器, 晶体二极管, 晶体三极管等基本器件。

(2) 电阻器简介

(3) 电阻器在电路中用 R 表示, 如 R7 表示编号为 7 的电阻器。电阻在电气

(4) 中的主要作用为分流, 限流, 分压, 偏置等。衡量电阻器的两个基本参数是阻值和功率。阻值用来表示电阻器对电流阻碍作用的大小, 用 Ω 表示。除了基本单位外, 还有 $K\Omega$ (千欧), $M\Omega$ (兆欧)。功率用来表示电阻所能承受的最大电流, 用 W 表示。

(5) 电容器简介

电容器在电路中一般用 “C” 加数字表示 (如 C18 表示编号 18 的电容器)。电容器是有两片金属膜紧靠, 中间用绝缘材料隔开而组成的元件。电容器的特性主要是隔直流通交流。电容器的大小就是表示它能贮存电能的大小,

电容器对交流信号的阻碍作用称为容抗；它与交流信号的频率和电容量有关。容抗 $X=1/(2\pi fC)$ ， f 表示交流信号的频率， C 表示电容容量。电容的基本单位用 F 表示，其他单位还有 mF （毫法）， μF （微法）， nF （纳法）， pF （皮法）。

（3）晶体二极管简介

晶体二极管在电路中常用“VD”加数字表示，如 VD3 表示编号为 3 的二极管。二极管的主要特性就是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下导通电阻极大或者无穷大。正因为二极管具有上述特性，常把它作用在整流，开关，隔离，稳压，极性保护。编码控制，调频调制，静噪等功能电路中。因此二极管按作用可以分为整流二极管，续流二极管，开关二极管，稳压二极管和限幅二极管等。

（4）晶体三极管简介

晶体三极管在电路中常用 VT 加数字表示，如 VT3 表示编号为 3 的三极管。三极管内部还有 2 个 PN 结，并且具有放大作用和开关作用。它有三个极，分别为 b（基极）c（集电极）e（发射极）。它分为 NPN 和 PNP 两种类型。发射极上的箭头表示通过三极管的电流方向，两类三极管中的电流方向是相反的。这两种类型的三极管从工作特性上可以互相弥补，所谓 OTL 电路中的对管就是有 PNP 和 NPN 型配对而成。

（5）MOS 场效应晶体管简介

MOS 场效应晶体管即金属-氧化物-半导体型场效应管，属于绝缘栅型。其主要特点是金属栅极与沟道之间有一层二氧化硅绝缘层，因此具有很好的输入电阻。它分 N 沟道和 P 沟道，通常是将衬底与源极 S 接在一起。根据导电方式的不同 MOS 场效应晶体管又分为增强型和耗尽型。增强型是只电压等于 0 时

管子呈截止状态, 加上正确的电压后, 多数载流子被吸引到栅极,

从而增强了该区域的载流子形成导电沟道；所谓耗尽型是指，电压等于 0 时，形成沟道，加上正确电压后，能使多数载流子流出沟道，因而耗尽了载流子，使管子转向截留状态。

(6) 电感线圈，和电容器一样，也是一种储能元件。电感线圈能把电能转变为磁场能，并在磁场中储存能量。电抗器用符号 L 表示，其电极的基本单位是 H（亨利），常用的有 Mh 和 μ H，它通常和电容器一起工作，构成 LC 滤波器，LC 振荡器等。人们还利用电感的特性，制造了阻流圈，变压器，继电器等。

(7) 变压器简介

变压器是变换交流电压，电流和阻抗的器件，当初级绕组中通有交流电时，铁心中便产生交流磁通，使次级线圈中感应出电压。变压器由铁心和绕组组成，绕组有两个或以上的绕组，其中接电源的绕组叫初级绕组，其余绕组叫次级绕组。按电源相数来分，变压器单相，三相和多相集中形式。

2.1.2 如何调用基本电器元件功能模块

(1) 如何放置并设置交流电源

打开 SIMULINK LIBRARY BROWER 窗口，点击 SIMPOWERSYSTEMS 模块库，点击 ELECTRICAL SOURCSE 模块库，用鼠标右键点击交流电源模块 AC VOLTAGE SOURCE,点击 ADD to 文件名，便将交流电源模块发送到文件中去，点击交流电源模块 AC VOLTAGE SOURCE，可以设置电压和频率，然后双击该模块，便弹出它的属性对话框，模块中已经给了交流电模块美国电气参数的国际单位制，点击 OK 完成设置。

(2) 如何放置并设置整流二极管

- (1) 打开 SIMULINK LIBRARY BROWER 窗口，→ 点击 SIMPOWERSYSTEMS 模块库，→ 点击 ELECTRICAL SOURCSE 模块库，→ 用鼠标右键点击整流二极管模块 DIODE，点击 ADD TO 文件名。点击整流二极管模块的名称框，可以更改名称，然后双击该模块边弹出它的属性对话框，进行参数设置然后点击 OK 完成属性参数的设置操作。
- (2) 如何放置电阻器，电感器，电容器
- (3) 打开 SIMULINK LIBRARY BROWER 窗口，→ 点击 SIMPOWERSYSTEMS 模块库，→ 点击 ELECTRICAL SOURCSE 模块库，→ 鼠标 点击串联性分支模块 SERIES RLC BRANCH，→ 点击 ADD TO 文件名。点击串联性分支模块 SERIES RLC BRANCH 的名称框，由于它包含有电阻器，电感器，电容器，他们的默认单位均为国际单位制，分别为 Ω , H, F.进行参数设置然后点击 OK 便完成串联性分支模块的属性设置操作。
- (4) 如何放置地线模块
- (5) 在电路的方针模型中，没有地线，计算机在作仿真计算时，若没有零电位的参考点便无法发进行仿真，所以，必须防止地线。地线在 SIMPOWERSYSTEMS 模块库的 CONNECTORS 模块库。MATLAB 中，有二种类型的地线，既 INPUT GROUND 和 OUTPUT GROUND。它们的区别在于连接线的方向不一样。
- (6) 如何设置仿真参数

点击文件窗口，点击 SIMULATION 按钮，→ 点击 SIMULAITION PARAMETERS,弹出一个方阵参数对话框，

点 OK 可以完成仿真参数的设置操作。便可获取仿真结果。

2.2 如何简化电路的仿真模型

- (1) 在 MATLAB 中，已经设计了单相和三相整流桥模块，且在 MATLAB 中，它们有一个专门的名字叫通用桥（UNIVERSAL BRIDGE）。他们分为以下几种拓扑结构:
- (2) 由二极管构成的不可控整流电路/逆变桥电路
- (3) 可控硅整流桥（THYRISTOR）电路/逆变桥电路
- (4) GTO-DIODE 式可控整流电路/逆变桥电路
- (5) MOSFET-DIODE 式可控整流电路/逆变桥电路
- (6) IGBT-DIODE 式可控整流电路/逆变桥电路
- (7) 理想开关器件（IDEAL SWITCH）式整流电路/逆变桥电路

所以, 在用 MATLAB 软件构建仿真模型时可以直接调用 UNIVERSAL BRIDGE 模块, 其调用和参数设置方法为:

打开 SIMULINK LIBRARY BROWER 窗口→点击 SIMPOWERSYSTEMS 模块库→点击 POWER ELECTRONICS 模块库, →鼠标右键点击 UNIVERSAL BRIDGE 模块→点击 ADD TO 文件名, 保存。然后双击该模块便弹出属性参数设置对话框, 完成设置。

2.3 基本电路设计方法

2.3.1 电源功能模块

电源是电子电路和由电子电路构成的各种电子设备的动力或核心。没有它提供能源, 电子电路和电子设备就无法正常实现他们各自的功能。而电源的性能好坏与否, 将直接影响整个设备的精度, 稳定性和可靠性。为此在构建电路的仿真模型时, 需要选择合适类型和性能优良的仿真电源, 这已成为仿真过程中的一项重要任务和步骤。

- (1) 在 SIMULINK 中专门设置了一个名为 SIMPOWERSYSTEMS 的模块库, 其中包括电源元件库 (ELECTRICAL SOURCES), 它包含了产生电信号的各种元件, 包括 7 种电源功能模块
- (2) 直流电压源 (DC VOLTAGE SOURCE)
- (3) 交流电压源 (AC VOLTAGE SOURCE)
- (4) 交流电流源 (AC CURRENT SOURCE)
- (5) 受控电压源 (CONTROLLED VOLTAGE SOURCE)
- (6) 受控电流源 (CONTROLLED CURRENT SOURCE)

(1) 三相电源 (3-PHASE SOURCE)

(2) 三相可编程电压源 (3-PHASE PROGRAMMABLE VOLTAGE SOURCE)

2.3.2 典型电路设计方法

(1) 直流电源电路仿真法

设置直流电压源 (DC VOLTAGE SOURCE) 的 AMPLITUDE (幅值);

(2) 开关 BREAKER 模块: 最重要的参数就是 SWITCHING TIME, 其他参数可以直接利用它的默认参数; 构建电阻 R 和电容 C; 设置 TO WORKSPACE 模块; 设置仿真参数; 启动仿真程序; 分析电路的仿真结果。

(3) 交流电压源电路仿真法

设置交流电压源 (AC VOLTAGE SOURCE); 设置 TO WORKSPACE 模块; 设置仿真参数; 启动仿真程序; 分析电路的仿真结果。

(4) 交流电流源仿真方法

设置 AC CURRENT SOURCE 模块; 设置 TO WORKSPACE 模块; 设置仿真参数; 启动仿真程序; 分析电路的仿真结果。

(4) 可控交流电源电路仿真法

设置 AC CURRENT SOURCE 模块; 设置 TO WORKSPACE 模块; 设置 CONTROLLED CURRENT SOURCE 模块; 设置仿真参数; 启动仿真程序; 分析电路的仿真结果。

(5) 可控交流电压源仿真法

设置 AC VOLTAGE SOURCE 模块; 设置 TO

WORKSPACE 模块；设置 CONTROLLED VOLTAGE SOURCE 模块；设置 SCOPE 模块；设置 STEP 模块；设置 SWITCH 模块；设置仿真参数；启动仿真程序；分析电路的仿真结果

2.4 常用电路设计法

2.4.1 ELEMENTS 模块库

在 SIMULINK 里面的 SIMPOWERSYSTEMS 的模块库中，包含有线路元件库 ELEMENTS。在 ELEMENTS 元件库中，基本涵盖了绝大多数电路所需元器件，如电阻器，电容器，，输电线，变压器，断路器等重要原件。主要包括 BREAKER 功能模块和 LINEAR TRANSFORMER 功能模块

2.4.2 POWER ELECTRONICS 模块库

SIMULINK 里面的 SIMPOWERSYSTEMS 的模块库中，包含电力电子元件库（POWER ELECTRONICS）。在 POWER ELECTRONICS 元件库中，基本上涵盖了绝大多数电路所需的开关元件，如晶体二极管，GTO，IGBT，MOSFET，THYRISTOR，理想开关，THREE-LEVEL BRIDGE 和 UNIVERSAL BRIDGE 等重要器件。主要包括 IDEAL SWITCH 功能模块和 IGBT 功能模块。

2.5 MATLAB 中电路的数学描述法

- (1) 电路的数学描述和建模，属于控制系统的一部分。测控系统和电力系统的数学描述，建模与控制系统相类似，可以利用控制系统的数学描述和建模方法，

对电路进行数学描述与建模分析。MATLAB 提供了简洁的仿真和模块库工具箱, 通过电路图的绘制, MATLAB 自动生成数学模型。

(1) 命令函数 Power2sys 的使用方法

命令格式: `SYS=Power2sys('SYS' , 'structure')`

说明: `SYS` 表示在 SIMPOWERSYSTEMS 中建立的仿真模型的名称。该命令将用来对该电路模型的结构进行分析, 并生成该电路模型的结构信息表。

命令格式: `SYS=Power2sys('SYS' , 'sort')`

说明: 该命令显示电路图中元件和支路的相关信息

命令格式: `[A,B,C,D,x0,states,inputs,outputs,uss,xss,yss,freqyss,hlin]=Power2sys('SYS')`

说明: 该命令将用来显示电力系统模型 `sys` 中的结果信息, 输出量由该函数控制。A,B,C,D 分别表示电力系统的状态方程模型中的矩阵, `x0` 表示电路和电力系统初始值向量。States 表示电力系统的状态变量, `inputs` 表示电力系统的输入量; `outputs` 表示电力系统输出量, `uss` 表示电力系统稳态时的输入向量, `xss` 表示电力系统稳态时的状态矩阵变量, `yss` 表示电力系统稳态时的输出向量, `freqyss` 表示电源频率向量, `hlin` 表示不同频率下电阻的传递函数矩阵。

命令格式: `SYS=Power2sys('SYS' , 'net')`

说明: 该命令函数用来显示电力系统的网络结构, 通过调用该函数显示电路图模型的拓扑结构。执行该命令后, 将输出一个名为 `sys.net` 的文件到当前搜索路径中。

命令格式: `SYS=Power2sys('SYS' , 'ss')`

说明: 该命令函数用来输出该电路模型向状态方程模型转换。

(2) 命令函数 powerinit 的使用方法

在 MATLAB 中利用命令函数 `powerinit` 对电路模型的初始值进行设定,

它的命令格式如下:

格式: `powerinit (' SYS' , ' look');` %

说明: 显示该电路模型的当前初始状态的数值。

格式: `powerinit (' SYS' , ' reset');` %

说明: 将电路模型的当前初始装填的数值重新设定为零

格式: `powerinit (' SYS' , ' set' ,P);` %

说明: 将电路模型的当前初始状态的数值重新设置为 P (矢量)

格式: `powerinit (' SYS' , ' steady');` %

说明: 重新该电路模型的当前初始状态, 使得该系统从稳态时启动仿真。

格式: `powerinit (' SYS' , ' setb' ,STATE,VALUE);` %

说明: 重新给设定该电路模型的初始状态变量 STATE 设定新的初始值 VALUE。

3 电力电子电路的仿真

3.1 实验的意义

电力电子技术和电力拖动控制系统组合了电子电路电机拖动自动控制理论微机原理和应用等多学科知识, 由于电力电子器件自身的非关联性, 给电力电子电路和系统的分析了一定的复杂性和困难, 一般常用波形分析和分段线性化处理的方法来研究电力电子电路。现代计算机仿真技术为电力电子电路和系统的分析提供了崭新的方法, 可以使复杂的电力电子电路系统的分析和设计变得更加容易和有效。

3.2 交流-直流变流器

所谓变流就是指交流电和直流电之间的转换, 对交直流电压, 电流的调节, 和对交流电频率, 相数, 相位的变换和控制。而电力电子变流电路就是应用电力电子器件实现这些转换的线路, 一般这些电路可以分为四大类。

(1) 交流-直流变流器。

(2) 直流-直流斩波调压器。

(3) 直流-交流变流器。

(4) 交流-交流变流器, 其中又分交流变压器和交-交变频器。

这里将要运用现代仿真技术学习研究和设计交流-直流变流器。

交流-直流变流器又称整流器, AC-DC 变流器, 其作用是将交流电转变为直流电, 一般称为整流, 并且在整流的同时还对直流电压电流进行调节, 以符合用电设备的要求。常用的整流器用单相和三相整流器, 从控制角度区分, 有不可控, 半控, 和全控整流电路之分, 从输出直流的波形来区分, 又分半波和全波整流器之分。二极管, 晶闸管是常用的整流器件, 现在采用全控型器件的 PWM 方式整流器也越来越多。整流电路的仿真可以用 powersys 模型库的二极管和晶闸管等模块来构建, 对三相整流电路模型库中有 6-PULSE DIODE BRIDGE, 6-PULSE THYRISTOR BRIDGE, UNIVERSAL BRIDGE 等模块可以调用, 使用这些模块可以使仿真更方便。复杂的大功率多相整流器可以在三相桥的基础上构建。

3.2.1 单相桥式全控整流电路仿真

单相桥式全控整流电路如图 3-1 所示:

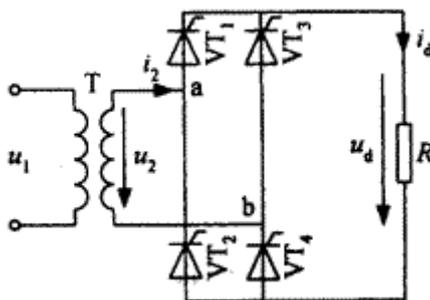


图 3-1 单相桥式全控整流电路原理图

电流由交流电源 u_1 , 整流变压器 T, 晶闸管 VT1~VT4, 负载电阻 R 以及触发电路组成。在变压器二次电压 u_2 的正半周触发晶闸管 VT1 和 VT4, 在 u_2 的负

半周触发晶闸管 VT2 和 VT3, 在负载电阻上可以得到方向不变的直流电,

改编晶闸管的控制角可以调节输出直流电压和电流的大小。

该电路的仿真过程可以分为建立仿真模型，设置模型参数和观测仿真结果等几个主要阶段。

1.建立仿真模型

(1) 首先建立一个仿真模型文件。在 MATLAB 的彩电上点击 FILE, 选择再在弹出菜单中选择 MODEL, 这时出现一个空白的仿真平台, 在这平台上可以绘制电路的仿真模型。同时也可以 FILE 菜单下给文件命名。

<p>(2) 提取电路元器件模块。在仿真模型串口的菜单上调出模型库浏览器, 在模型库中提取适合的模块放到仿真平台上。组成单相桥式整流电路的主要元器件有交流电源, 晶闸管, RLC 负载等, 提取元器件模块的路径见表 3-1</p> <p>元器件名称</p>	<p>提取元器件路径</p>
<p>交流电源 u2</p>	<p>Power system blockset\electrical sources\AC voltage source</p>

晶闸管 VT1~VT4	Power system blockset\power electronics\thyristor
RLC 串联电路	Power system blockset\elements\seriesRLC branch
脉冲发生发生器	Simulink\sources\pulse generator
T 形节点	Power system blockset\connectors\T connector
中性节点	Power system blockset\connectors\nneutral(output)

表 3-1 元器件名称及路径

(3) 将电路元器件模块按单相整流的原理图连接起来组成仿真电路。将元器件连接组成仿真模型如图 3-2

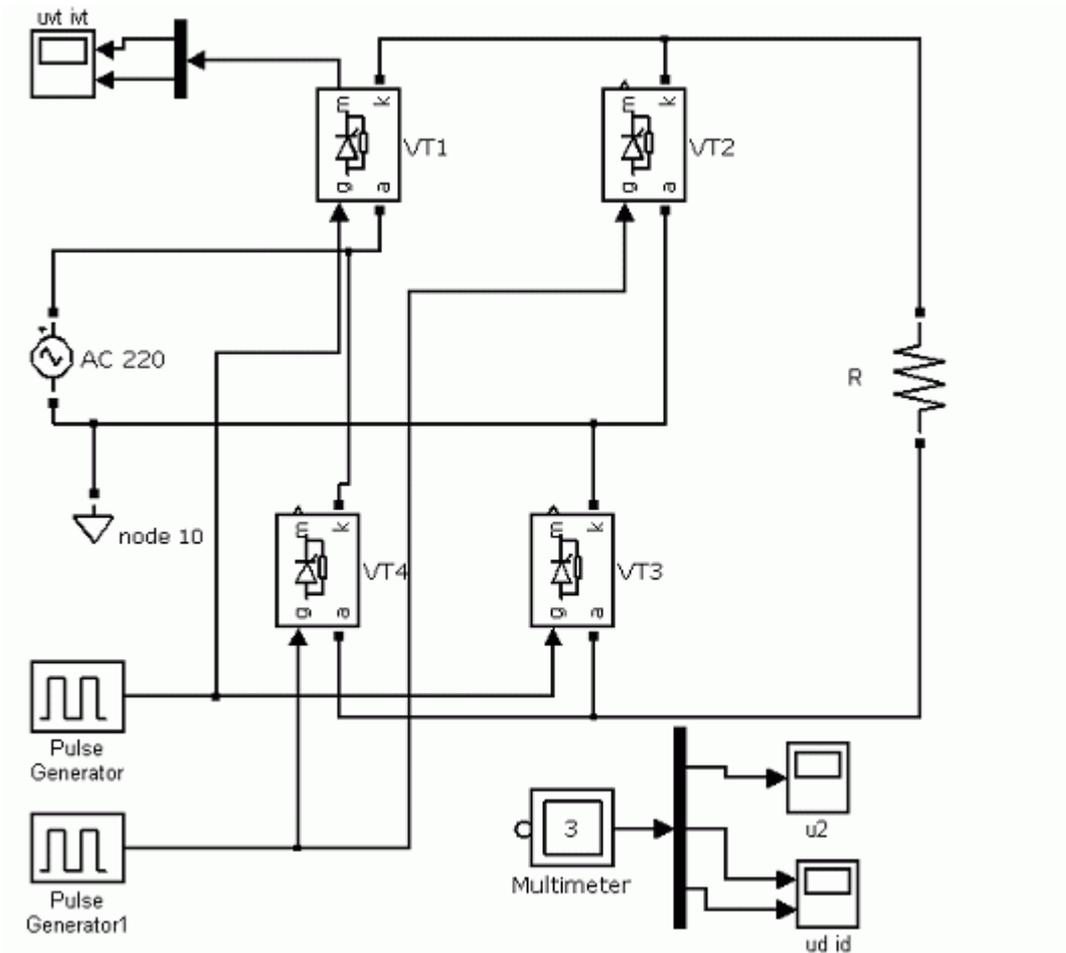


图 3-2 单相桥式整流电路模型

在 SIMULINK 模型库中没有专门的单相桥式整流触发器模型，这里使用了 2 个脉冲发生器来分别 VT1 和 VT3, VT2 和 VT4 的触发脉冲。整流器的负载选用了 RLC 串联电路，可以通过参数设置来改变电阻，电感，和电容的组合。

模型中使用了两种测量仪器，示波器（SCOPE）和多路测量器（MULTIMETER）。示波器可以观测它连接点上的波形，多路测量器可以接受一些模块发出来的参数型号并通过示波器观测。

2.设置模型参数。设置模型参数是保证仿真准确和顺利的重要一步，有些参数由任务来规定，比如此次仿真中的电源电压，电阻值等，有些参数是需要仿真来确定的。

(1) 交流电压源 u2，电压为 220V，频率为 50Hz，初始相位为 0° 。在电压设置中要输入的是电压峰值，输入“ $220 \times \text{sprt}(2)$ ”。测量选择选中电压“voltage，” u2 的数据可以送入多路测量器。如图 3-3

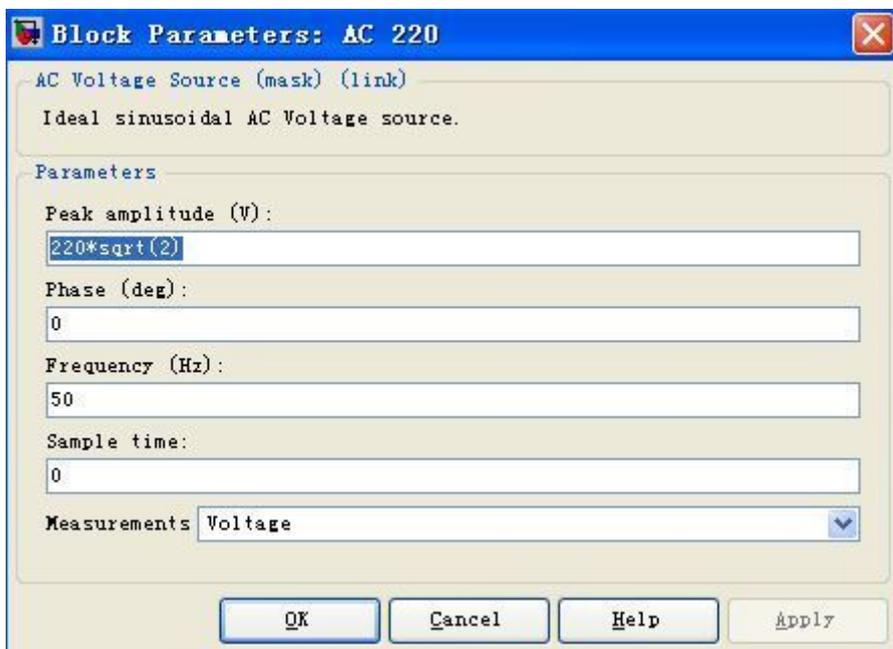


图 3-3 交流电源参数设置

(2) 晶闸管 VT1~VT4 直接使用了模型的默认参数。

(3) 负载 RLC, R 的值 2Ω , L 的值 0, C 的值为 inf, 并在参数页最后的测量选择中选择“voltage and current”,这样负载 R 的电压和电流可以通过多路测量器观测。如图 3-4。

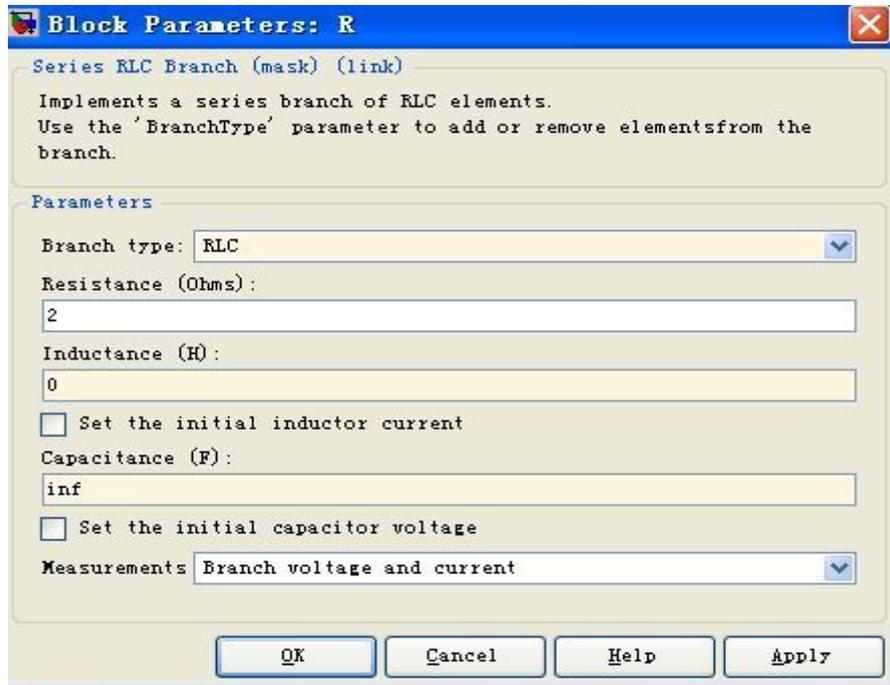


图 3-4 RLC 参数设置

<p>(4) 晶闸管触发采用简单的脉冲发生器来产生, 脉冲发生器周期 T 必须和交流电源 u_2 同步。晶闸管的控制角 α 以脉冲的延迟时间 t 来表示 $t = \alpha T / 360^\circ$, 其中 α 为控制角, $T = 1/f$, f 为交流电源频率。 $\alpha = 30^\circ$</p>	<p>脉冲发生器 1</p>	<p>脉冲发生器 2</p>
--	----------------	----------------

时的脉冲发生器参数设置如下表 3-2。 项目		
Pulse type	Time-based	Time-based
Amplitude	1	1
Period	0.02s	0.02s
Pulse width	0.0005s	0.0005s
Phase delay	0.00167s	0.01167s

表 3-2 脉冲发生器参数设置

3.模型仿真

模型仿真前设置仿真参数主要包括: 开始时间, 终止时间, 仿真类型, 以及相对误差, 绝对误差。步长大小要适中一般选可变步长 (variable-step), 仿真数值计算方法可选 ode15, ode23, ode45 等, 这里仿真数值计算方法选择了 ode45, 仿真时间为 0.06s。如图 3-5

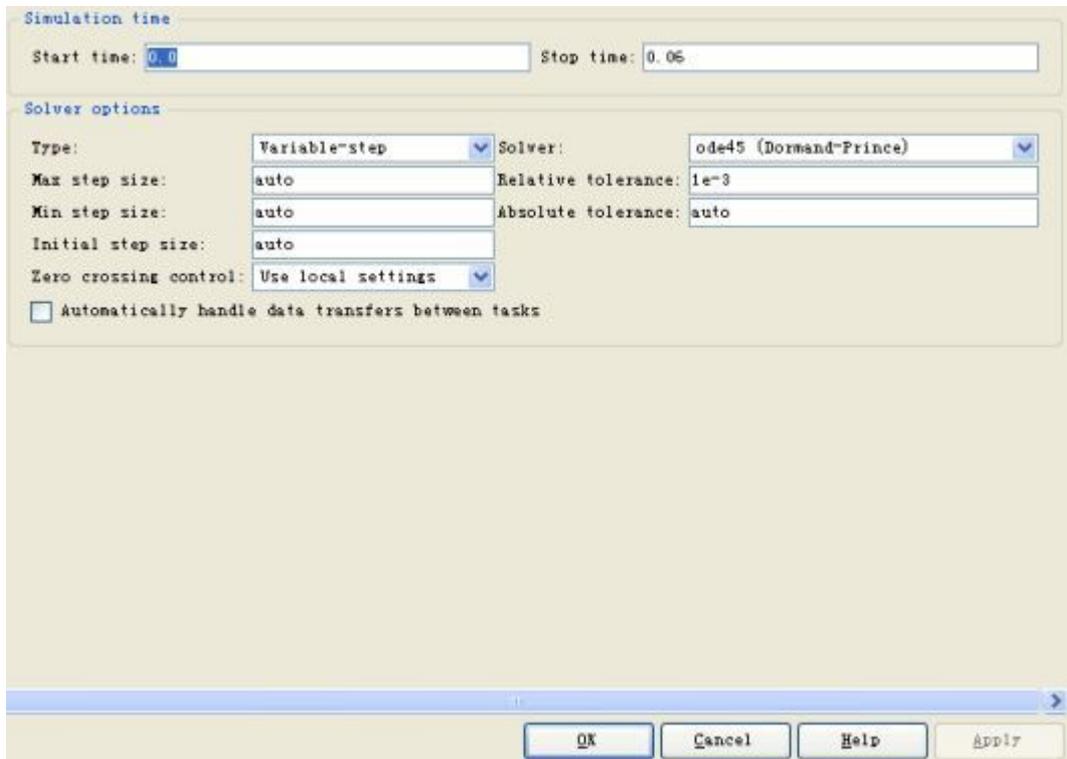


图 3-5 模型仿真参数设置

开始仿真，在仿真计算完成后即可通过示波器来观察仿真结果：

(1) 电阻负载时的仿真波形。

如图 3-6 为仿真时间中电源 u_2 的波形

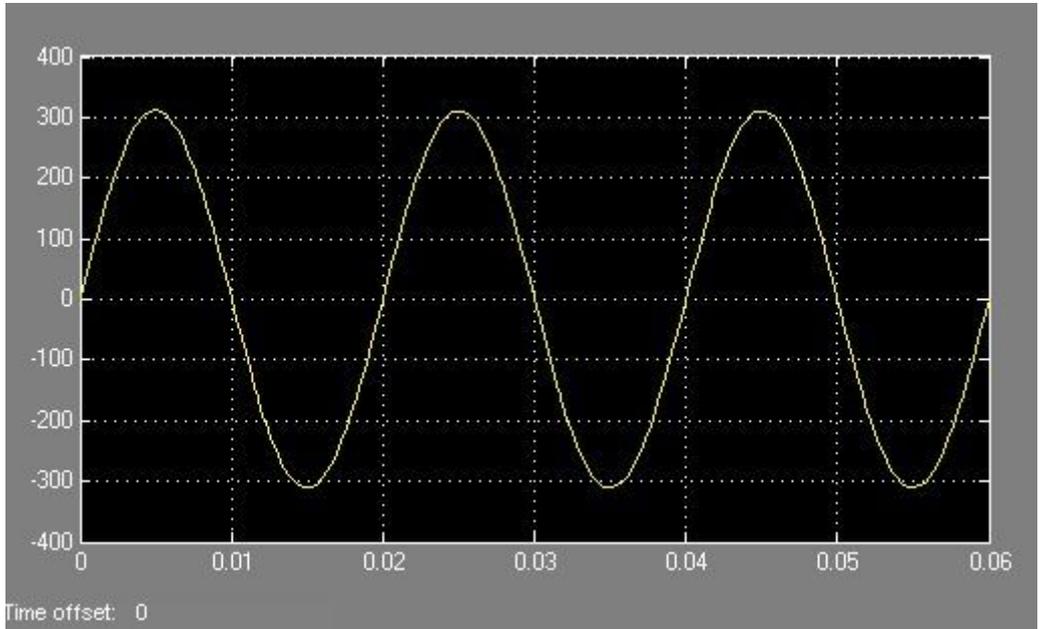


图 3-6 电源电压 u_2 波形

如图 3-7 上部分和下部分分别为 $\alpha = 30^\circ$, R 的值为 $2\ \Omega$ 时负载二点电压和通过负载的电流波形。

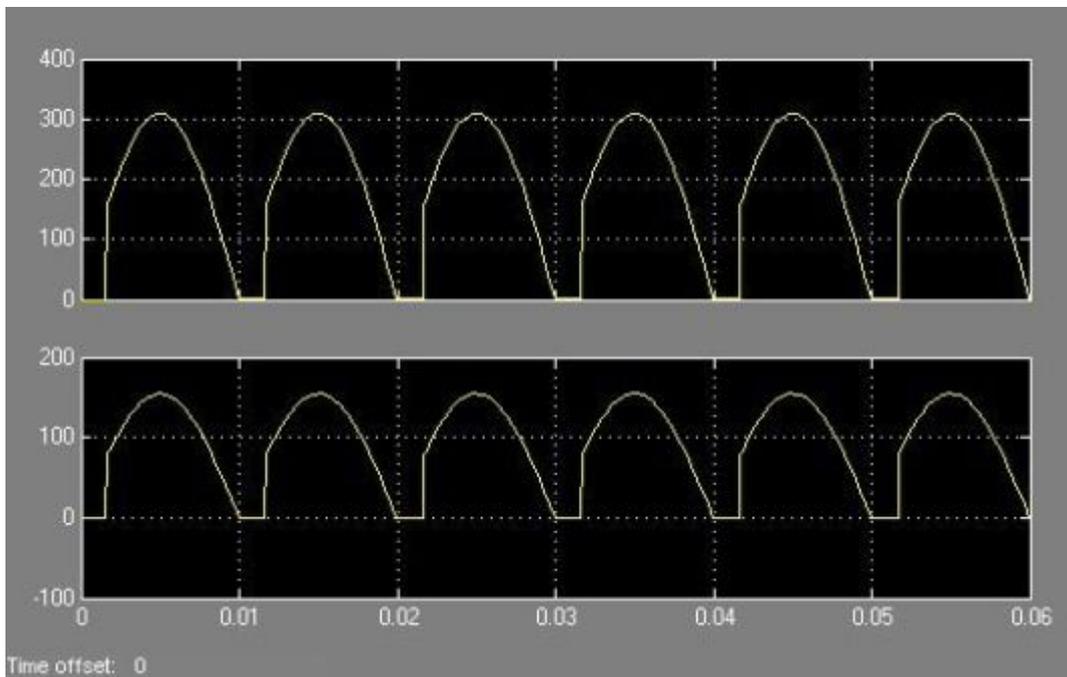


图 3-7 $\alpha = 30^\circ$ 时负载电阻两端电压和电流波形

该电压和电流都是脉动的直流，反应了电源的交流电经过整流后形成为了直流电，实现了整流。因为是电阻负载，整流后的电压和电流波形相同，但是纵坐标的标尺不同，电压的幅值 $U_m=311V$ ，电流的幅值 $I=155A$ ，与计算结果 $I_m=U_m/R$ 相同。

如图 3-8 下部分和上部分分别为晶闸管 VT1 两端的电压和通过晶闸管 VT1 的电流波形。

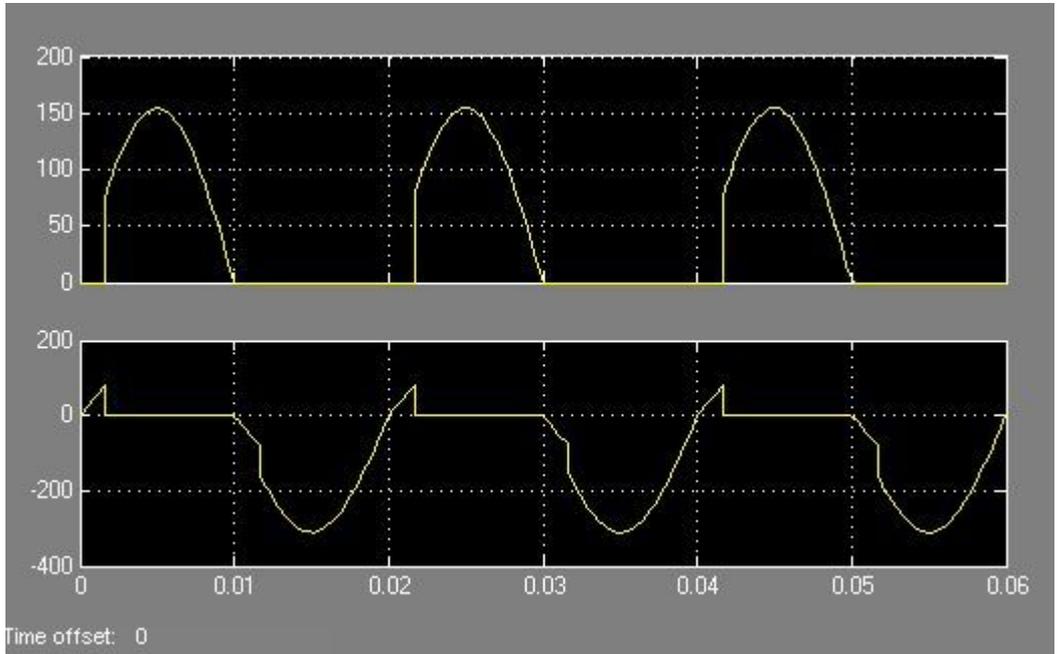


图 3-8 $\alpha = 30^\circ$ 时 VT1 两端的电压和电流波形

通过晶闸管的电流仅是负载的一半，只有半个周期内有电流通过晶闸管 VT1。并且通过比较可以看到晶闸管导通时晶闸管两端电压为零，在 4 个晶闸管都不导通时（0.01s~0.012s,0.02s~0.022s 区间），每个晶闸管承受 $u_2/2$ 电压，且晶闸管承受的最好反向电压为电源电压的峰值 311V，根据该电压和电流可以选择晶闸管的额定参数。

如果要观察在其他控制角下，整流器的工作情况，只需修改脉冲触发器的延迟时间，重新启动仿真即可，在 $\alpha = 60^\circ$ 如图 3-9 图 3-10。

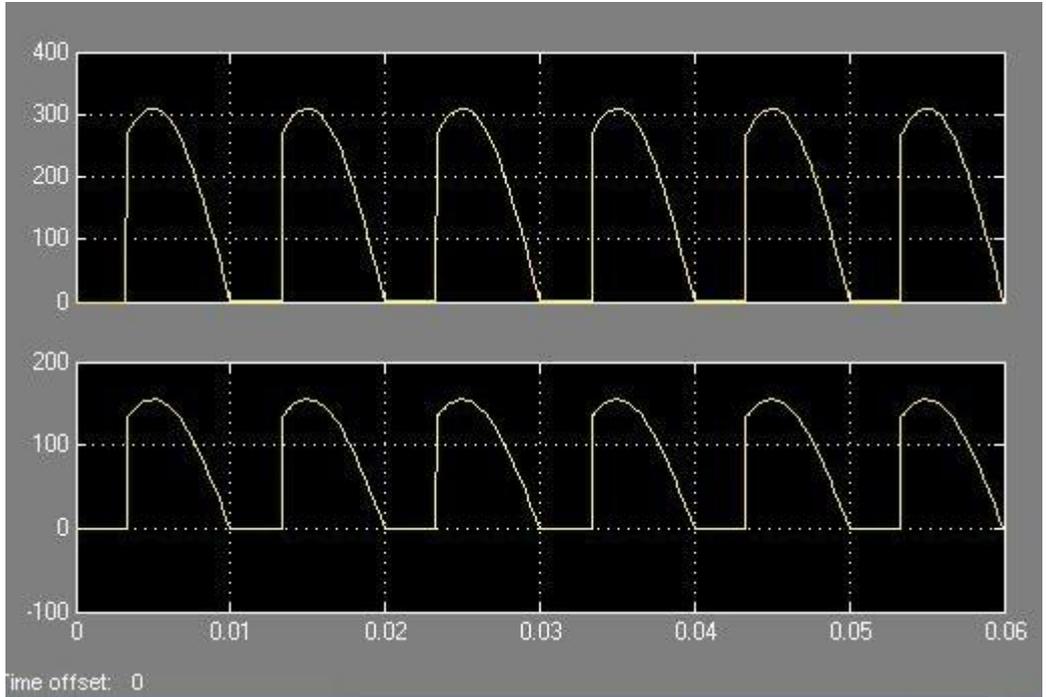


图 3-9 $\alpha = 60^\circ$ 负载电阻两端的电压波形和电流波形

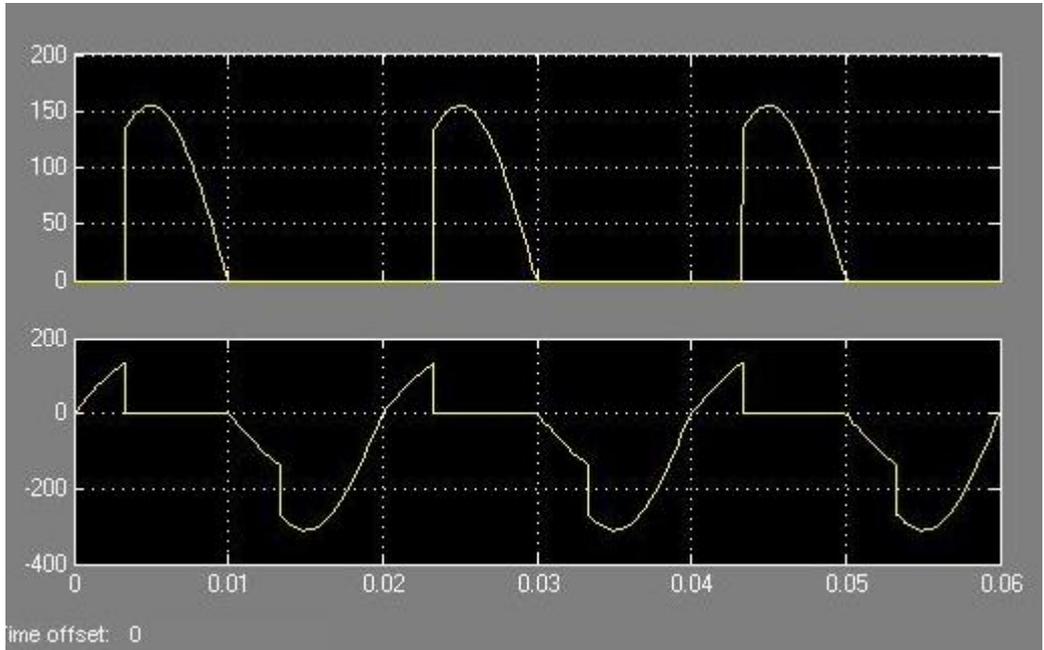


图 3-10 $\alpha = 60^\circ$ 晶闸管的电压波形和电流波形

(2) 电阻电感负载时的仿真。如果要研究电感性负载时整流器的工作状况，只需要重新设置负载参数，设 RL 负载，R 的值为 2Ω ，L 的值为 0.01H ，再次启动仿真。如图 3-11 图 3-12 电感中电流在启动时有一上升过程（图 3-11 下部分），一个周期后进入稳态，电流是连续的，对应的电压波形出现负半周（图 3-11 上部分），使整流平均电压较纯电阻负载时减小。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/328055075067006133>

