

上海市专业学位研究生教育改革试验项目资助

现代调速技术

实验教程

郭丙君 卿湘运 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

现代调速技术 实验教程

郭丙君 卿湘运 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 简 介

本书以培养学生自主设计能力、综合实验能力、创新意识和创新能力为主要教学思想；以 DSP、工控机、PLC 等作为数字控制的载体，构建各类实验系统；重点介绍了实验原理、系统的设计方法和具体实验方法。

本书包含仿真实验、实训性实验和开发性实验三个部分。首先介绍了各种直流和交流调速系统的仿真实验，主要是基于理论教学的原理性、验证性实验；然后介绍了基于工控机、PLC 等数字控制工具的实训性实验；最后介绍了基于 DSP 的数字控制系统开发性实验。数字控制系统部分详细介绍了各类数字控制实验系统的实现原理，提供了数字控制的设计思路与方法，以此作为数字控制运动控制系统自主设计实验内容的参考与借鉴。

本书适合作为普通高等院校电气信息类本科生实验教材和工程硕士研究生的相关实验教材，也可作为相关科研人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代调速技术实验教程/郭丙君，卿湘运编著. —北京：中国电力出版社，2014.2

ISBN 978-7-5123-5192-9

I. ①现… II. ①郭…②卿… III. ①直流调速-实验-教材
②交流调速-实验-教材 IV. ①TM921.5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 267898 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 2 月第一版 2014 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 181 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

运动控制系统是以电动机为被控对象所实现的机械运动自动控制系统,是工业自动化领域的重要分支,具有很强的应用背景。据统计,我国有 62% 左右的用电量是由电动机消耗的。电动机拖动生产机械广泛地应用于机械制造、冶金、矿业、交通、石油化工、航空航天、国防工业、家电生产、轻工、农业等国民经济的各个领域,研究运动控制系统对提高产品质量、改善系统性能、节约能源都有重要的作用。运动控制系统的实践教学不仅仅是实践对于理论知识的验证,更重要的是通过综合知识的融合贯通与应用,使学生建立系统的整体概念,领会系统分析的思想,掌握控制理论的应用规律,锻炼综合应用中分析问题与解决问题的能力,培养探索问题、研究问题的创新精神。

本书的特点在于:以培养学生自主设计能力、综合实验能力、创新意识和创新能力为主教学思想;以 DSP、工控机、PLC 等作为数字控制的载体,构建各类实验系统;重点介绍了实验原理、系统的设计方法和具体实验方法。

本书包含仿真实验、实训性实验和开发性实验三个部分。首先介绍了各种直流和交流调速系统的仿真实验,主要是基于理论教学的原理性、验证性实验;然后介绍了基于工控机、PLC 等数字控制工具的实训性实验;最后介绍了基于 DSP 的数字控制系统开发性实验,数字控制系统中详细介绍各类数字控制实验系统的实现原理,提供了数字控制的设计思路与方法,以此作为数字控制运动控制系统自主设计实验内容的参考与借鉴。

本书由华东理工大学郭丙君、卿湘运共同编写。其中第 1~3 章和附录 A 由郭丙君编写;第 4 章和附录 B 由卿湘运编写,全书由郭丙君统稿。

在编写本书的过程中参考了一些书目、文献及上海倍鼎测控技术有限公司、宁波东大自动化智能技术有限公司、Siemens 公司的产品使用手册,在此向参考文献的作者们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不当和谬误之处,恳请有关专家和广大读者批评指正。

编 者

2013 年 6 月

前言

第1章 直流调速系统数字仿真实验

1.1	实验目的	3
1.2	实验原理	3
1.2.1	MATLAB 语言中的 Simulink 仿真环境及 M 文件的编制方法	3
1.2.2	SimPower Systems 模型库简介	5
1.3	实验内容	11
1.4	实验器材	12
1.5	实验方案及建模方法	12
1.5.1	开环直流调速系统的仿真	12
1.5.2	单闭环有静差转速负反馈调速系统的建模与仿真	17
1.5.3	单闭环无静差转速负反馈调速系统的建模与仿真	19
1.5.4	单闭环电流截止转速负反馈调速系统的建模与仿真	20
1.5.5	单闭环电压负反馈调速系统的建模与仿真	22
1.5.6	单闭环电压负反馈和带电流正反馈调速系统的建模与仿真	22
1.5.7	双闭环直流调速系统的建模与仿真	23
1.5.8	PWM 直流调速系统的建模与仿真	26
1.6	实验报告	29
1.7	注意事项	29

第2章 交流调速系统数字仿真实验

2.1	实验目的	33
2.2	实验原理	33
2.3	实验内容	35

2.4	实验器材	35
2.5	实验方案及建模方法	35
2.5.1	单闭环交流电动机调压调速系统的建模与仿真	35
2.5.2	绕线转子异步电动机双馈调速系统仿真	38
2.5.3	SPWM 内置波调速系统的建模与仿真	40
2.5.4	SPWM 外置波调速系统的建模与仿真	42
2.5.5	电流滞环跟踪控制调速系统的建模与仿真	43
2.5.6	转速开环恒压频比的交流调速系统的建模与仿真	46
2.5.7	转速、磁链闭环控制的矢量控制系统的建模与仿真	48
2.6	实验报告	52
2.7	注意事项	52

第3章 现代调速系统实训性实验

3.1	S7-300 通过数字量实现 MM440 的多段固定频率调速实验	55
3.1.1	实验目的	55
3.1.2	实验需求	55
3.1.3	实验步骤	55
3.1.4	实验报告	57
3.1.5	注意事项	57
3.2	S7-300 通过 PROFIBUS DP 网络实现 MM440 的调速实验	57
3.2.1	实验目的	57
3.2.2	实验需求	58
3.2.3	实验步骤	58
3.2.4	实验报告	67
3.2.5	注意事项	67
3.3	S7-300 通过 PROFIBUS DP 网络控制 S120 实现速度控制实验	68
3.3.1	实验目的	68
3.3.2	实验需求	68
3.3.3	实验步骤	68
3.3.4	实验报告	74

3.3.5 注意事项	75
3.4 S7-300 通过 PROFIBUS DP 网络控制 S120 实现基本定位控制实验	75
3.4.1 实验目的	75
3.4.2 实验需求	75
3.4.3 实验步骤	75
3.4.4 实验报告	85
3.4.5 注意事项	85

第4章 现代调速系统开发性实验

4.1 三相异步电动机磁场定向控制 (FOC) 实验	89
4.1.1 实验目的	89
4.1.2 实验需求	89
4.1.3 实验原理	91
4.1.4 实验步骤	92
4.1.5 实验报告	108
4.1.6 注意事项	108
4.2 有刷直流电动机 PWM 控制实验	108
4.2.1 实验目的	108
4.2.2 实验需求	108
4.2.3 实验原理	109
4.2.4 实验步骤	110
4.2.5 实验报告	121
4.2.6 注意事项	121
4.3 无刷直流电动机 PWM 控制实验	122
4.3.1 实验目的	122
4.3.2 实验需求	122
4.3.3 实验原理	122
4.3.4 实验步骤	123
4.3.5 实验报告	130
4.3.6 注意事项	130

4.4 永磁同步电动机 PWM 控制实验 130

4.4.1 实验目的 130

4.4.2 实验需求 130

4.4.3 实验原理 132

4.4.4 实验步骤 133

4.4.5 实验报告 146

4.4.6 注意事项 146

附录 A 运动控制实验平台 147

附录 B MCTL - CZT - A 开放性电机控制实验平台 152

参考文献 161



直流调速系统数字仿真实验

» MATLAB语言由于其使用方便、输入便捷、运算高效、适应科技人员的思维方式,成为科技界广泛使用的软件。尤其是在Simulink环境下的电力系统模块库,其功能强大,可以用于电路、电力电子系统、电机控制系统、电力传输系统等领域的仿真。本章将介绍直流调速系统的模型建立和仿真。通过对本章的学习,使得学生在直流调速系统的数字仿真方面的能力得到提高。

1.1 实验目的

- (1) 深入理解直流调速系统的理论知识。
- (2) 掌握各种直流调速系统的控制原理。
- (3) 掌握系统调节器工程设计方法, 对系统进行综合分析和数字仿真的基本方法。
- (4) 能够在 MATLAB 编程环境下自行开发控制算法, 培养一定的计算机应用能力及工程设计能力。

1.2 实验原理

1.2.1 MATLAB 语言中的 Simulink 仿真环境及 M 文件的编制方法

1. Simulink 仿真环境

Simulink 环境是 MATLAB 中基于模型化图形组态的动态系统仿真软件, 可以实现连续系统、非线性系统和离散系统的仿真。它包括 Simulink 仿真平台和系统模型库两部分, 主要侧重于动态系统的建模、分析和设计, 比传统的仿真软件包更直观、方便。它不但实现了可视化的动态仿真, 而且实现了与各种软、硬件接口之间的相互数据传递, 大大扩展了其功能。Simulink 仿真环境中包含大量的标准模块、扩展模块等, 其中 Simulink 自身提供的许多常用模块, 构成了标准模块库, 如信号源库、输出库、线性系统库、非线性系统库、离散系统库等。扩展模块是用户根据实际应用的需要编写的自制模块。在 Simulink 环境下使用的电力系统仿真库提供了一种类似电路搭建方法构建系统模型的方式, 主要用于电路、电力电子系统、电机拖动系统和电力传输等领域的仿真。

此外, 随着系统规模和复杂性的增加, 对于某些系统, 可考虑将模块分解为若干个子系统, 采用系统函数 (S-Function) 的形式, 便于独立测试和重复使用。在一定意义上, 系统函数是扩展 Simulink 功能的强有力工具, 可以帮助用户利用 MATLAB 的 M 语言、C 语言、C++ 语言及 Fortran 等语言的程序创建自定义的 Simulink 模块。

在 Simulink 环境下, 以调用模块代替了程序的编写, 以模块连接的框图表示

系统，从而构成了面向系统结构框图的仿真平台。Simulink 的操作包括启动、模型建立、数字仿真和模型保存等步骤。

(1) 启动。

Simulink 的启动方法有多种。

1) 在 MATLAB 的命令窗口中输入 Simulink 命令，即可打开 Simulink 的模块库，同时打开一个空白的模型窗口。

2) 在 MATLAB 命令窗口的 file 菜单中选择 new 命令的 model 项，打开一个空白的模型窗口。

3) 在任何一个模型窗口的 file 菜单中选择 new 命令的 model 项，打开一个空白的模型窗口。

(2) 模型建立。

根据待仿真的系统框图，在 Simulink 的模型库中选择合适的标准模块和扩展模块，构建控制系统的仿真模型。完整的仿真模型至少应包括源模块和输出模块。

在完成模块提取和系统仿真模型的组建之后，需要给各个模块赋值，即双击对应模块，修改其内部参数和标题等属性。

(3) 数字仿真。

在模型窗口中设定仿真步长、时间、仿真方法和仿真误差，然后在 Simulation 菜单中选择 start 命令，开始仿真。双击 Scope 模块，可以观测仿真结果。

(4) 模型保存。

利用模型窗口的 file 菜单中的 save 命令，以文件形式保存模型，模型文件的扩展名为 .mdl。

2. M 文件的编制

M 文件是采用文本编辑器创建、修改的文本文件。利用 MATLAB 进行编程，就是根据用户的不同需要，编写不同内容的 M 文件。M 文件包括两大类：命令文件和函数文件。其中命令文件是最简单的一种 M 文件，它不包括输入变量和输出变量，不可以实现数据传递，文件中定义或者使用的变量均是全局变量，其主要功能在于使命令输入更加简单。函数文件的主要用途是用来扩展 MATLAB 的应用范围和满足用户不同的实际应用需求，它可以接受输入变量，也可以返回输出变量，即可以数据传递。在函数文件内部的其他变量是局部变量，即一旦退出函数，就成为无效变量。函数文件为用户构建应用函数和扩展模块提供了有效途径。

M 文件的扩展名为 .m。可以利用任何文本编辑器对 M 文件进行建立、编辑和

修改，只要文件扩展名满足要求即可。

M 文件的 S-Function 是具有一套固定的调用变量规则的 M 文件。这类 M 文件中的第一行程序应为下面的函数语句。

```
function[sys,x0,str,ts]=sfunc_name(t,x,u,flag,p1,p2,...,pn)
```

其中，sfunc_name 是 S 函数的函数名。输入变量的说明见表 1-1。输出变量的说明见表 1-2。

表 1-1 S 函数的输入变量

变量名	定义	变量名	定义
t	仿真时间的当前值	flag	S 函数行为的标示
x	S 函数状态向量的当前值	p1, p2, ..., pn	选择参数列表
u	输入向量的当前值		

表 1-2 S 函数的输出变量

变量名	定 义
sys	多目标输出变量。sys 的定义取决于 flag 的值
x0	S 函数状态向量的初始值，包括连续和离散两种状态
str	设置输出变量为一个空矩阵
ts	设置采样时间，采样延时矩阵，此矩阵为一个双列矩阵

M 文件的 S-Function 在运行过程中总要检验输入变量 flag 的值，然后按照表 1-3 所示的规则执行对应的操作。经常采用的方法是依据 flag 的值来调用内部函数的 Switch-case 模块。一种有效的方法是在 S 函数的模板 sfuntmpl 函数上进行修改而成。

表 1-3 S 函数的 flag 定义

flag 值	S 函数的行为
0	初始化 size 结构，并将 size 的值赋给 sys，设置 x0 和 ts
1	计算连续状态的微分值
2	更新离散状态
3	计算输出，设置 sys 为输出向量的值
4	计算下一次采样时间
5	执行必要的结束仿真任务

1.2.2 SimPower Systems 模型库简介

这里主要介绍 Simulink 环境下的电力系统模块库，以便用于交直流调速系统

的模型建立和仿真。

电力系统模型库 (SimPower Systems) 是专门用于 RLC 电路、电力电子、电动机传动控制系统和电力系统仿真的模型库。在电力拖动控制系统中主要使用该模型库的模型。电力系统模型库的使用和 Simulink 模块有所不同, 电力系统模型库必须连接在回路中使用, 在回路中流动的是电流, 并且电流通过元器件会产生压降。Simulink 模块组成的是信号流程, 流入流出模块信号没有特定的物理含义, 其含义视仿真模型的对象而定。由电力系统模型库组成的电路和系统可以和 Simulink 模型库的控制单元连接, 组合成控制系统进行仿真, 观察不同控制方案下系统的性能指标, 为系统设计提供依据。

在 SimPower Systems 模块库中有很多模块组, 主要有电源、元件、附加模块库、电机、测量、电力电子元件等。下面简要介绍各模块组的内容。

1. 电源模块库

电源模块库包括直流电压源、交流电压源、交流电流源、受控电压源等。其各模块图标如图 1-1 所示, 其功能如英文名称所示。

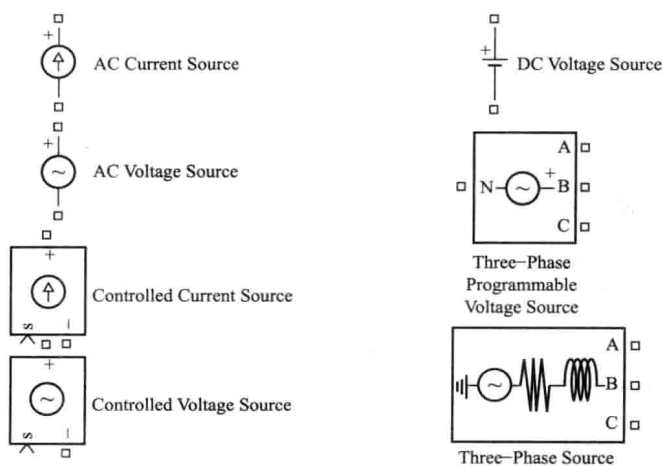


图 1-1 电源模块库图标

2. 元件模块库

元件模块库包括各种电阻、电容、电感元件及三相元器件等。对于常用的元件 (如单个电阻、电感和电容), 通过设置 Series RLC Branch (电阻、电感、电容三相串联) 或 Series RLC Load (电阻、电感、电容三相并联) 参数来获得。单个元件参数在串联或并联中设置是不同的, 如表 1-4 所示, 元件模块库中各基本模块图标如图 1-2 所示。

表 1-4

单个电阻、电感和电容元件参数设置表

	串联 RLC 元件			并联 RLC 元件		
	电阻数值	电感数值	电容数值	电阻数值	电感数值	电容数值
单个电阻	R	0	inf	R	inf	0
单个电感	0	L	inf	inf	L	0
单个电容	0	0	C	inf	inf	C

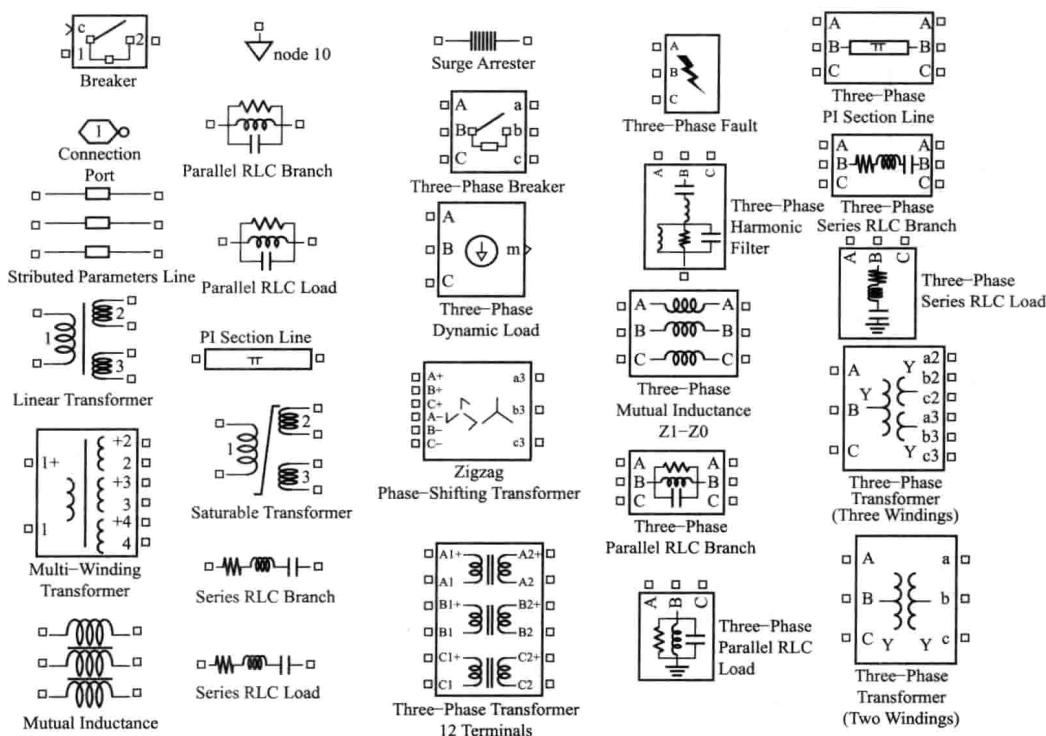


图 1-2 元件模块库图标

3. 附加模块库

附加模块库由控制模块库、离散控制模块库、离散测量模块库、测量模块库、三相电气库等组成。各模块组图标如图 1-3 所示。

(1) 控制模块库包括同步触发器、PWM 发生器等。控制模块库的图标如图 1-4 所示。

(2) 离散控制模块库主要包括 PI 调节器、PID 调节器、离散脉冲发生器等。模块库图标如图 1-5 所示。

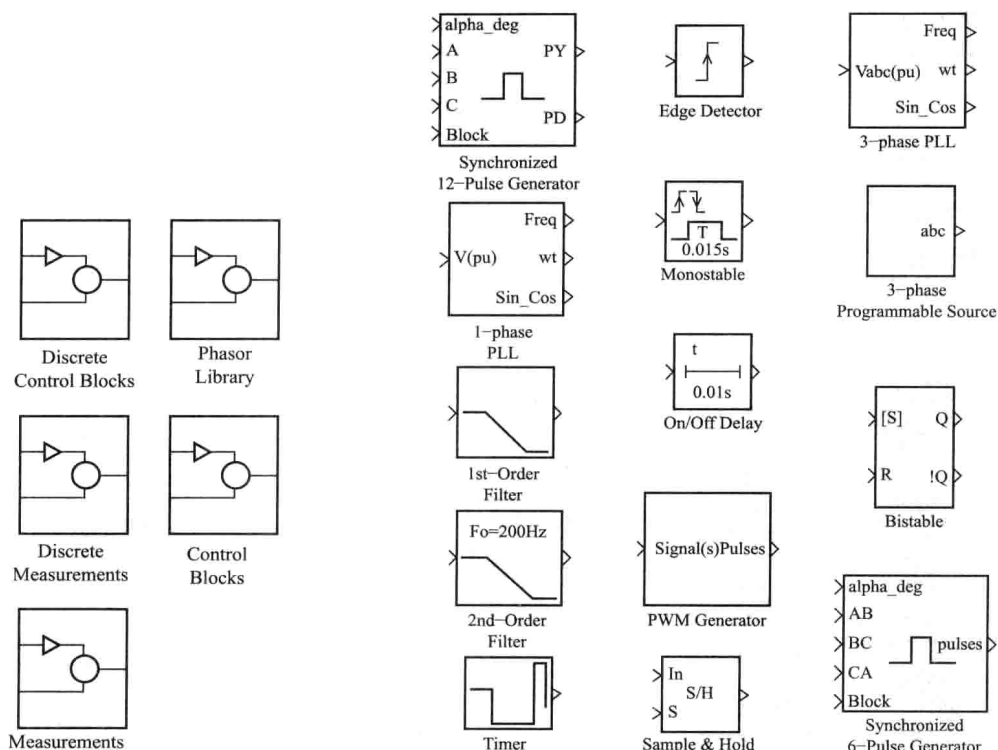


图 1-3 附加模块库图标

图 1-4 控制模块库的图标

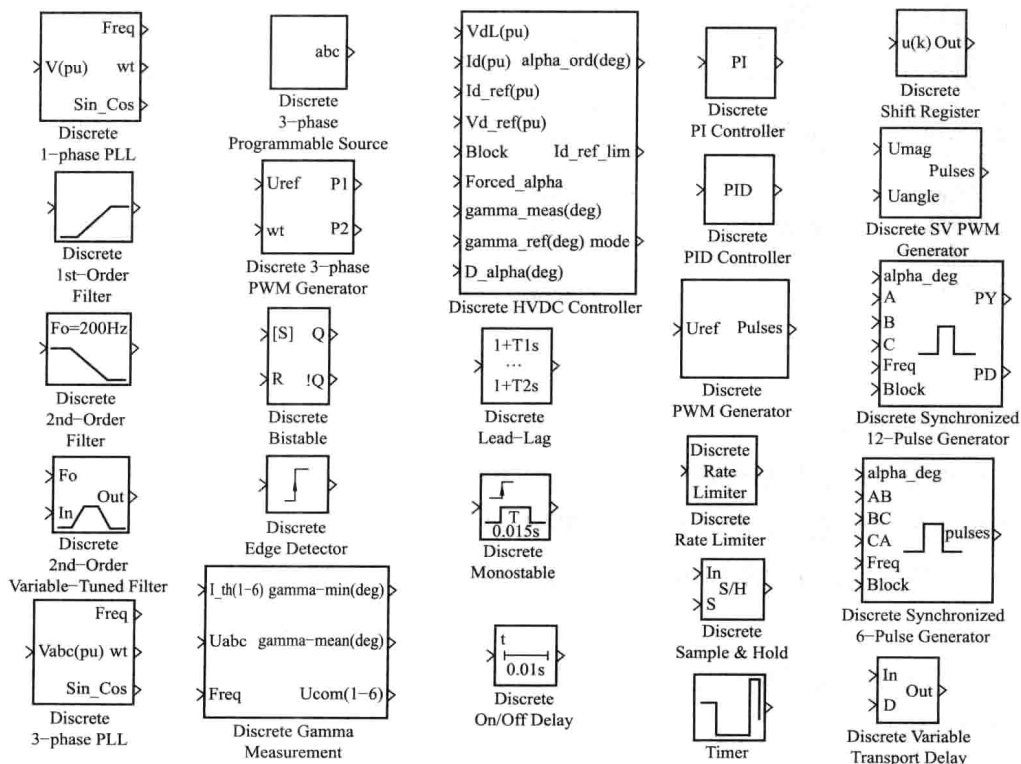


图 1-5 离散控制模块库图标

(3) 离散测量模块库主要包括离散化有效值测量模块、离散化三相相序分析等。离散测量模块库图标如图 1-6 所示。

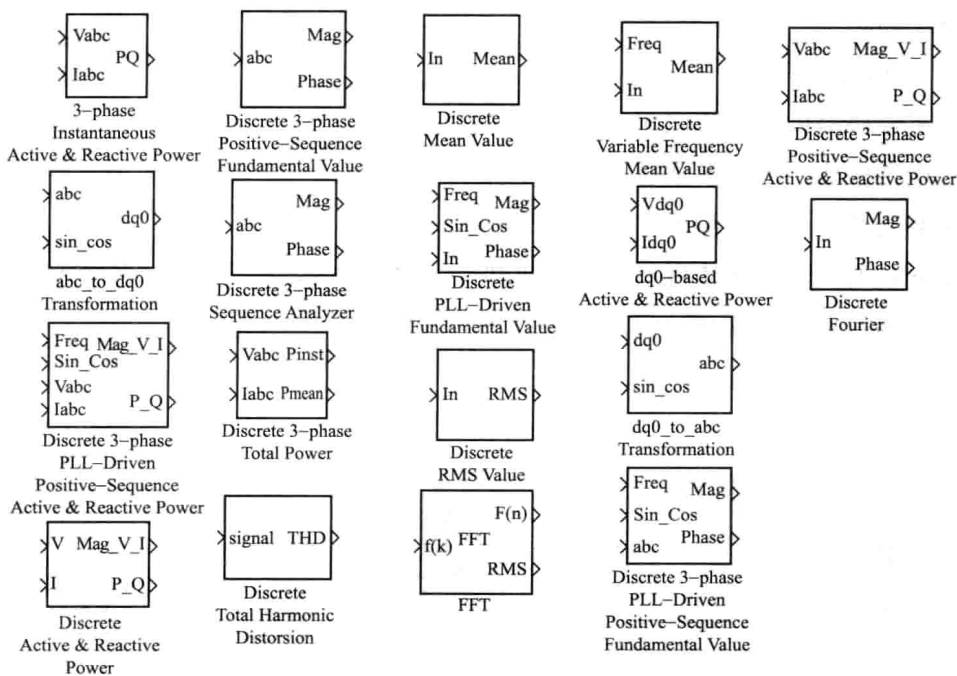


图 1-6 离散测量模块库图标

(4) 测量模块库主要包括坐标变换、三相输入电压相序分析等。图 1-7 为测量模块库图标。

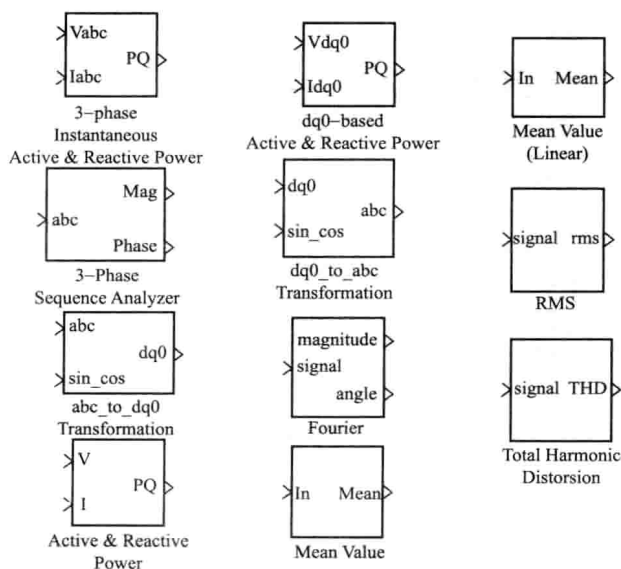


图 1-7 测量模块库图标