

电气与控制实验科学技术

王科俊 主编

电力系统实验技术

DIAN LI XI TONG SHI YAN JI SHU

黄曼磊 卢芳 编著

黑龙江人民出版社

· 电气与控制实验科学技术 · 王科俊 主编

江南大学图书馆



91142446

电力系统实验技术

黄曼磊 卢 芳 编著



黑龙江人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气与控制实验科学技术/王科俊 主编. —哈尔滨:黑龙江人民出版社, 2008. 7

ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8

I. 电… II. 王… III. 电气控制—实验—研究 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据字(2008)第 110906 号

责任编辑:李荣焕

装帧设计:李若聃

电力系统实验技术

黄曼磊 卢 芳 编著

出版发行 黑龙江人民出版社

通讯地址 哈尔滨市南岗区宣庆小区 1 号楼

邮 编 150008

网 址 www.longpress.com

电子邮箱 hljrmcbs@yeah.net

印 刷 哈尔滨太平洋彩印有限公司

开 本 16 开

印 张 135 印张

字 数 355 万字

印 数 2000 套

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 207 - 07885 - 8/TP · 14

定 价 350.00 元(全套 14 本)

(如发现本书有印制质量问题,印刷厂负责调换)

本社常年法律顾问:北京市大成律师事务所哈尔滨分所律师赵学利、赵景波

简 介

本书是电力系统专业的实验教材,全书共分2篇6章,主要内容包括实验所用的硬件装置和仿真软件的使用方法,各种实验的基本理论基础,并从电力系统分析、电力系统自动化、电力系统继电保护三个方面介绍了相关实验方法和详细操作等。

本书可以作为《电力系统工程基础》、《电力系统分析》、《电力系统自动化》、《电力系统继电保护》等课程的实验用书或课程辅助用书。可供高等院校电气工程及其自动化专业本科生、研究生作为专业课实验教材使用,也可供科研院所、厂矿企业中从事电力系统研究的科技工作者参考使用。

告 白

学大器工第本创于年 8003

前言

电力系统是多种学科的有机结合与交叉,是电气工程专业非常重要的研究方向之一。目前高校开设的《电力系统工程基础》,《电力系统分析》,《电力系统自动化》等课程,都因电力系统具有研究的对象规模大、课程内容复杂抽象等特点,亟须通过实验来加深对知识的深入理解。

本书从仿真实验与物理实验两方面介绍了电力系统相关实验的内容、实现和操作等。编写中,实验内容紧扣课程要求,实验方法力求通用,并力求将实验方法和过程介绍详尽。

本书共分为基础篇和实验篇两部分。基础篇中分别介绍了电力系统综合实验装置的使用、仿真软件 MATLAB/PSB 的相关基础操作与使用方法、仿真软件 PSASP 的相关基础操作与使用方法以及电力系统相关实验的实验原理等内容。

实验篇中包括电力系统潮流实验、电力系统短路分析实验、电力系统暂态实验、发电机励磁调节实验、同步发电机组与无穷大电网并车实验、电力系统单双回路运行实验、三段式继电保护实验、电力系统故障实验、三相重合闸实验等共 15 个实验内容。

本书由黄曼磊统稿,其中第三章、第六章由黄曼磊编写,第一章、第二章、第四章、第五章由卢芳编写。本书在编写思路的把握上和编写过程中得到了哈尔滨工程大学电气工程实验教学中心刘宏达老师许多宝贵的意见和建议,同时也得到了兰海副教授、张强副教授的大力支持和帮助,在此表示感谢。还得到了王科俊教授、罗耀华教授和彭秀艳教授的支持,在此一并表示感谢。

由于编者知识、经验、水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年于哈尔滨工程大学

目 录

基础篇

第一章 概述	1
第一节 电力系统实验教学的重要性	1
第二节 电力系统实验教学方法	2
第二章 电力系统实验装置及仿真软件介绍	3
第一节 电力系统实验装置简介	3
第二节 MATLAB 电力系统工具箱(PSB)概述	6
第三节 MATLAB 电力系统模块库分析与介绍	7
第四节 SIMULINK 功能模块的基本操作	22
第五节 MATLAB/PSB 仿真实例	24
第六节 电力系统分析综合程序(PSASP)的功能及特点	28
第七节 PSASP 基础数据库介绍	30
第八节 PSASP 仿真实例	39
第三章 电力系统实验基本原理	44
第一节 电力系统分析实验原理	44
第二节 电力系统自动化实验原理	49
第三节 电力系统继电保护实验原理	54

实验篇

第四章 电力系统分析实验	62
第一节 基于 MATLAB 的电力网络潮流计算实验	62
第二节 基于 MATLAB 的电力网络故障分析实验	64
第三节 基于 MATLAB 的电力网络暂态稳定性实验	68
第四节 基于 PSASP 的电力网络潮流计算实验	71
第五节 基于 PSASP 的电力网络短路计算实验	73
第六节 基于 PSASP 的电力网络暂态稳定性实验	74
第五章 电力系统自动化实验	77
第一节 同步发电机准同期并列实验	77
第二节 同步发电机励磁控制实验	79

第三节 电力系统功率特性和功率极限实验	80
第四节 电力系统运行实验	83
第六章 电力系统继电保护实验	85
第一节 输电线路三段式电流保护实验	85
第二节 单侧电源线路三相一次重合闸实验	90
第三节 输电线路的电流电压微机保护实验	91
第四节 输电线路距离保护实验	97
第五节 变压器差动保护实验	102
附录	107
参考文献	110

附录

附录一 电力系统分析软件	111
附录二 电力系统仿真软件	112
附录三 电力系统保护软件	113
附录四 电力系统运行软件	114
附录五 电力系统实验软件	115
附录六 电力系统实验设备	116
附录七 电力系统实验安全	117
附录八 电力系统实验记录	118
附录九 电力系统实验报告	119
附录十 电力系统实验总结	120

基础篇

第一章 概述

第一节 电力系统实验教学的重要性

一. 实验环节在教学中的地位

高校承担着把学生培养成为适应社会需要的、高素质的创新型人才的任务,这种创新型人才不仅需要扎实的基本理论功底,而且需要有较强的实验操作技能。实验教学是高等院校教学的重要组成部分,是对课堂所学理论知识的直观认识。实验在整个教学过程中具有不可替代的重要地位,是学生理论联系实际的重要途径,它在培养学生综合素质和创新能力方面有着不可替代的重要作用。

在实验过程中,学生通过实际操作和观察去发现问题,并通过分析、判断、推理等得到解决问题的方法。这也正是创造性思维的基本过程。这些基本的实践能力是开拓创新的基础,没有这些基础技能的培养,创新能力的培养就成为无源之水,因此,可以说实验教学过程是创新教育的重要环节。

二. 电力系统的特点

电力系统是指由进行电能生产、变换、输送、分配、消费的各种设备按照一定的技术和经济要求有机组成统一系统的总称,它由发电厂、变电所、输配电线路及各种用电设备组成。为了确保电力系统的安全、可靠运行,电力系统还包括继电保护、自动装置、通信、调度自动化及自动监测和控制系统等设备。

由于发电机和用电同时进行,并且发电、配电、用电之间功率平衡,各个设备环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。不论是生产和变换能量的原动机、发电机,还是输送、分配电能的变压器、输配电线路以及用电设备等,只要其中的任何一个元件设备发生故障,都会影响电力系统正常工作。电能生产与国民经济各部门有着极为密切的关系。因此,在电力系统中要求进行快速控制和快速切除故障,否则将危及整个电力系统的安全稳定运行。

根据电力系统的上述特点以及电力工业在国民经济中的地位和作用,对电力系统提出了下列基本要求:(1)保证安全可靠的供电;(2)保证良好的电能质量;(3)保证系统运行的经济性。

三. 电力工业对人才的要求

随着我国大容量发电机组的投入运行以及超高压远距离和直流输电的混合电网的建设,以三峡电网为中心的全国性电力系统逐渐形成,全国电网必将发生巨大的变化。电力系统的不断扩大,使电力系统的结构和运行方式变得越来越复杂多变,对电力系统的综合科学技术水平的要求也越来越高,使得电力系统的技术更新速度大大加快,不同技术之间的相互渗透,相互融合也越来越普遍。

因此,作为面向 21 世纪的电气工程将对学生提出更高的要求,即更应具有知识的广泛性、思维的创造性和对未来社会的挑战性。因此,我们只有站在新时代对人才的新要求高度,确定创新、复合型

人才为培养方向,必须从今后的工程技术和生产的发展实际出发,把对人才的素质和特点的要求作为考虑问题的依据。通过综合化的专业实验性教学,使学生成为具有综合思维能力和综合处理问题能力的创新、复合型技术人才。

第二节 电力系统实验教学方法

目前,电力系统实验教学中通常采用物理模拟和软件仿真两类方法,两类方法各有其优点,相辅相成。

一. 物理模拟方法

物理性实验即通过实际的物理元件及成套的实验装置模拟小型的实际系统。物理性的实验主要优点是形象、直观明了、物理意义明确。对于简单系统的相关性能,可通过一些电力系统实验装置的实际操作,对电力系统形成简单的认识。虽然实验装置中的物理元件并未按与大型实际电力系统的相似条件来进行物理仿真,然而,它仍不失为一个真实的简单电力系统,并且可以定性地、反复地、直观地实现观测实际电力系统的各种运行状态。它在培养学生分析基本电路及动手实际操作能力和实验研究能力方面起到了积极的作用。目前在许多高校都是采用这种方式。

二. 软件仿真方法

单纯的实验装置也存在其不足的地方:第一、大多是验证性实验,控制方式单一,不能充分调动学生的主观能动性;第二、随着电力系统的不断扩大和网络化,实际电力网络拓扑系统变得越来越复杂,实验装置不能模拟大型的电力系统。第三、在实际操作过程中存在设备故障、损坏等情况,不够经济。数字仿真技术恰好弥补了上述装置的不足。电力系统仿真就是通过数字计算机上建立适当的数学模型来模拟电力系统物理过程的一种研究方法。由于计算机软硬件技术的飞速发展,数字仿真技术取得了许多突破性进展。其具有以下优点:(1)可以组建大规模系统,培养学生大系统的观念;(2)系统组建灵活,学生自我设计发挥的自由度大,可以开展创新性实验;(3)投资相对小,实验覆盖内容广。

因此,通过物理实验与数字仿真结合的方式,可以提高实验的效率,减少设备的损坏。

学生通过实验与仿真加深对课堂知识的理解和掌握,并了解课堂之外的知识,以此来激发学生的学习兴趣,变被动学习为主动研究。这对于提高学生的科研能力和水平,培养学生的创新能力,拓宽知识面是很有利的。

第二章 电力系统实验装置及仿真软件介绍

第一节 电力系统实验装置简介

一. 电力系统综合自动化试验台

电力系统自动化类实验目前应用较广的是 WDT-III 型电力系统综合自动化试验台。下面简要介绍一下实验台的基本组成及功能。

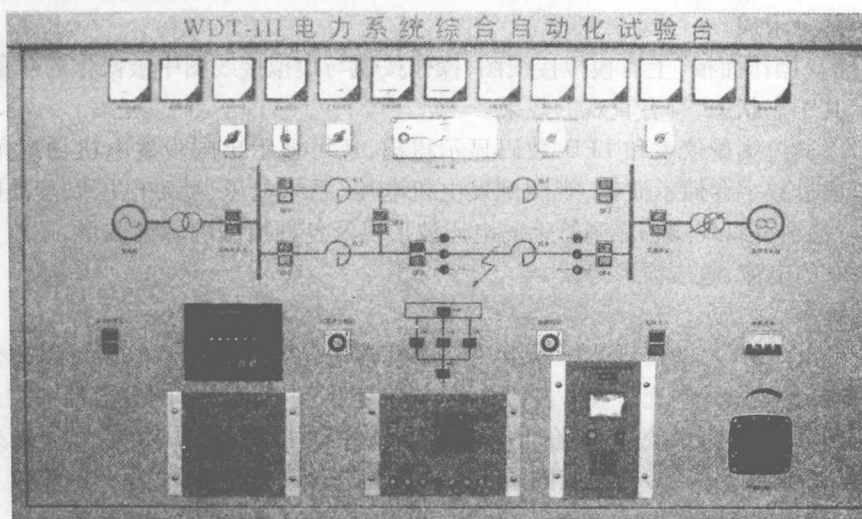


图 2-1 WDT-III 型电力系统综合自动化试验台

综合自动化实验教学系统由发电机组、试验操作台、无穷大系统等三大部分组成,如图 2-1 所示

1. 机组是由同在一个轴上的三同步发电机,模拟原动机用的直流电动机,以及测速装置和功率角指示器组成。直流电动机、同步发电机经弹性联轴器对轴联结后组装在一个活动底盘上构成可移动式机组。具有结构紧凑、占地少、移动轻便等优点,机组的活动底盘有四个螺旋式支脚和三个橡皮轮,将支脚旋下即可开机实验。

2. 操作台

实验操作台是由输电线路单元、微机线路保护单元、功率调节和同期单元、仪表测量和短路故障模拟单元等组成。其中负荷调节和同期单元是由“TGS-04 型微机调速装置”、“WL-04B 微机励磁调节器”、“HGWT-03 微机准同期控制器”等微机型的自动装置和其相对应的手动装置组成。

(1) 线路采用双回路远距离输电线路模型,每回线路分成两段,并设置中间开关站,使发电机与系统之间可构成四种不同联络阻抗,便于实验分析比较。

(2) “YHB-III 型微机线路保护”装置是专为实验教学设计,具有过流选相跳闸、自动重合闸功能,备有事故记录功能,有利于实验分析。在实验中可以观测到线路重合闸对系统暂态稳定性影响以及非全相运行状况。

(3) “TGS-04 型微机调速装置”是针对大、中专院校教学和科研而设计的,具有测量发电机转速、测量电网频率、测量发电机功率角 δ 、手动模拟调节、手动数字调节、微机自动调速以及过速保护等功能。

(4) “WL-04B 微机励磁调节器”其励磁方式可选择:他励、自并励两种;控制方式可选择恒 U_c 。

恒、恒 I_f 、恒 a 、恒 Q 等四种;设有定子过电压保护和励磁电流反时限延时过励限制、最大励磁电流瞬时限制、欠励限制、伏/赫限制等励磁限制功能;设有按有功功率反馈的电力系统稳定器(PSS);励磁调节器控制参数可在线修改,在线固化,灵活方便,并具有实验录波功能,可以记录 U_c 、 I_f 、 U_f 、 P 、 Q 、 a 等信号的时间响应曲线,供实验分析用。

(5)“HGWT-03 微机准同期控制装置”,它按恒定越前时间原理工作,主要特点如下:①可选择全自动准同期合闸;②可选择半自动准同期合闸;③可测定断路器的开关时间;④可测定合闸误差角;⑤可改变频率差允许值,电压差允许值,观察不同整定值时的合闸效果;⑥按定频调宽原理实现均频均压控制,自由整定均频均压脉冲宽度系数,自由整定均频均压脉冲周期;观察不同整定值时的均频均压效果;⑦可观察合闸脉冲相对于三角波的位置,测定越前时间和越前角度;⑧可自由整定越前(开关)时间;⑨输出合闸出口电平信号,供实验录波之用。

(6)仪表测量和短路故障模拟单元由各种测量表及其切换开关、各种带灯操作按钮和各种类型的短路故障操作等部分组成。

实验操作台的“操作面板”上有模拟接线图,操作按钮与模拟接线图中被操作的对象结合起来,并用灯光颜色表示其工作状态,具有直观的效果。

试验数据可以通过测量仪表和 LED 数码显示得出,还可显示出同步发电机功率角、晶闸管角 α 等量。同时可以通过数字存储示波器,观测到发电机电压、系统电压、励磁电压以及准同期时的脉动电压等电压波形,甚至可以观测各晶闸管上的电压波形以及各种控制的脉冲波形,还可以同时观测到同步发电机短路时的电流、电压波形等。

3. 无穷大系统

无穷大电源是由 15kVA 的自耦变压器组成。通过调整自耦变压器的电压可以改变无穷大母线的电压。此外,本装置在设计中充分发挥各设备的作用,考虑到模型操作的灵活性和方便性以及接口的通用性,在制造上符合电力系统规范,在设计中增加一些与外部联接的功能,以便对外来设备进行性能考核实验,例如:对线路保护、励磁或同期等自动装置进行考核实验,这在一定程度上扩大其使用范围。

二. 电力系统继电保护试验台

电力系统继电保护类实验目前应用较广的是 DJZ-III 型电气控制与继电保护试验台。下面简要介绍一下实验台的基本组成及功能。

1. 试验台的主要特点

DJZ-III 型电气控制与继电保护试验台是专为熟悉各种继电器特性实验,变压器常规和微机差动保护实验,模拟线路电流电压常规保护和微机保护实验以及常规距离保护和微机距离保护实验设计的装置,试验台上设有各种常规电磁式继电器和线路模型、变压器和微机型继电保护装置等。试验台的主要特点有:

(1)试验台上装有漏电保护,确保实验进程安全。

(2)试验台配置齐全,既有常规的各种电磁式继电器、常规和微机的电流电压保护和距离保护又有线路模型,还可以完成常规和微机的变压器差动保护。学生可以自行设置短路点,真实模拟线路故障情况,学生还可以自行设计保护接线,提高动手能力和分析能力。

(3)试验台的微机保护含有电流电压保护、阻抗保护、变压器差动保护三种功能,可以分别做三种保护实验。

(4)试验台的微机保护,具有良好的自诊断功能、事故记录和事件顺序记录功能。能显示各种信息,调试方便,有利于教学活动。

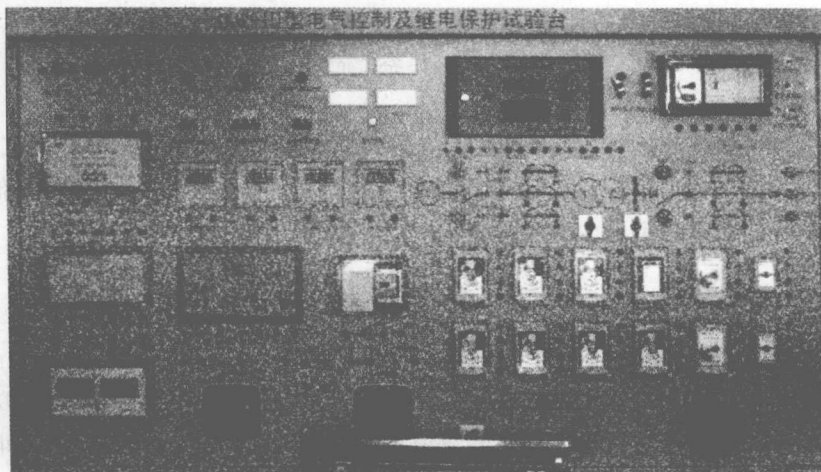


图 2-2 DJZ-III 型电气控制与继电保护试验台

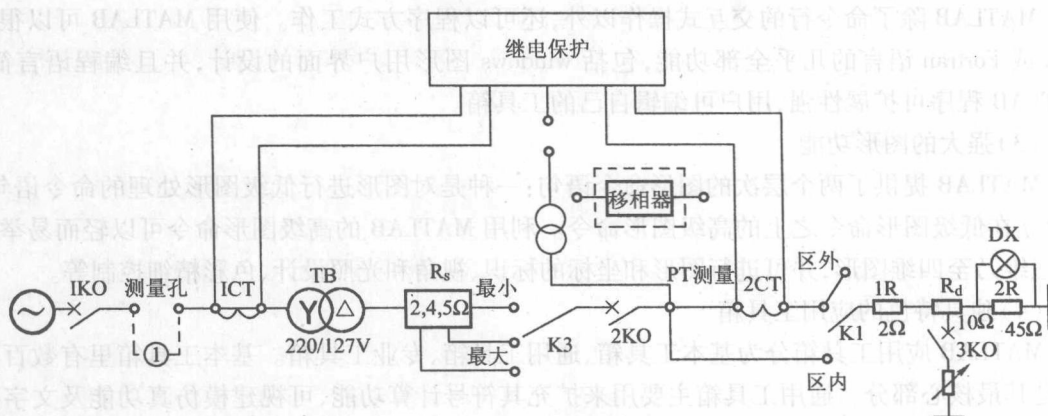


图 2-3 DJZ-III 一次系统图

1. 本试验台可完成下述所列类型的几种实验:

- (1) 模拟系统正常、最小、最大运行方式实验
- (2) 模拟系统短路运行方式实验
- (3) 学习和设计完成变电站电流保护的接线
- (4) 保护装置的動作电流校验和動作电压校验实验
- (5) 模拟系统短路保护動作实验
- (6) 低电压闭锁电流保护装置的動作实验
- (7) 保护装置的動作时间整定实验
- (8) 电流速断保护灵敏度检查实验
- (9) 低电压闭锁速断保护灵敏度检查实验
- (10) 复合电压过流保护实验
- (11) 保护動作时间配合实验
- (12) 微机线路保护(包括线路电流电压保护和阻抗保护)实验
- (13) 运行方式对保护灵敏度影响实验
- (14) 常规保护配合实验
- (15) 常规保护与微机保护配合实验
- (16) 电磁式三相一次重合闸和微机重合闸实验
- (17) 变压器差动保护实验(包括常规差动保护和微机差动保护)

第二节 MATLAB 电力系统工具箱(PSB)概述

MATLAB 是一种科学计算软件,适用于工程应用各领域的分析设计与复杂计算,它使用方便,输入简捷,运算高效且内容丰富,很容易由用户自行扩展。因此,当前已成为美国和其他发达国家大学教学和科学研究中最常用且必不可少的工具。

一. MATLAB 的特点

(1) 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,强大的矩阵运算功能以及稀疏矩阵的处理能力可以解决大型问题。MATLAB 的数值计算功能包括矩阵运算、多项式和有理分式运算、数据统计分析、数值积分、优化处理等。

(2) 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 语言的几乎全部功能,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。

(3) 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图形处理的命令语句;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而易举的绘制二维、三维乃至四维图形,并可进行图形和坐标的标识、视角和光照设计、色彩精细控制等。

(4) 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。基本工具箱里有数百个内部函数,是其最核心部分。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,除电力系统工具箱以外,还包含有控制系统、信号处理、神经网络、最优化等工具箱,用户可以直接利用这些工具箱进行相关领域的科学研究。

目前关于 MATLAB 的书籍很多,在此不再赘述。下面将重点讲述电力系统工具箱(PSB)的功能及特点。

二. MATLAB/PSB 模型库

MATLAB/PSB 以 Simulink 为运行环境,涵盖了电路、电力电子、电气传动和电力系统等电工学科中常用的基本元件和系统的仿真模型。在 MATLAB 命令窗口运行 Simulink 或单击 Simulink Library Browser 快捷按钮后,便可弹出仿真元件库窗口,然后双击 SimPowerSystems,就能调出电力系统模块库。它由以下 7 个子模块库组成。

(1) 电源模块库:包括直流电压源、交流电压源、交流电流源、可控电压源、可控电流源等。

(2) 基本元件模型库:包括串联、并联负载/支路、线路变压器、饱和变压器/互感器、断路器、N 相分布参数线路、单相 π 型集中参数传输线路和浪涌放电器等。

(3) 电力电子模块库:包括二极管、晶闸管、可关断晶闸管、绝缘栅双极性晶体管 and 理想开关等。

(4) 电机模块库:包括励磁装置、水轮发电机及其调节器、异步电动机、同步电动机及其简化模型和永磁同步电动机等。

(5) 连接模块库:包括地、中性点和母线。

(6) 测量模块库:包括电流测量与电压测量。

(7) 附加元件库:包括三相模块、特殊的测量设备以及控制模块。

在前六个基本子模块库的基础上,根据需要,可组合封装出常用的更为复杂的模块。实际上,附

加模块库中的三组电气系统就是用 6 个及本子库中的各模块构造并封装起来的。

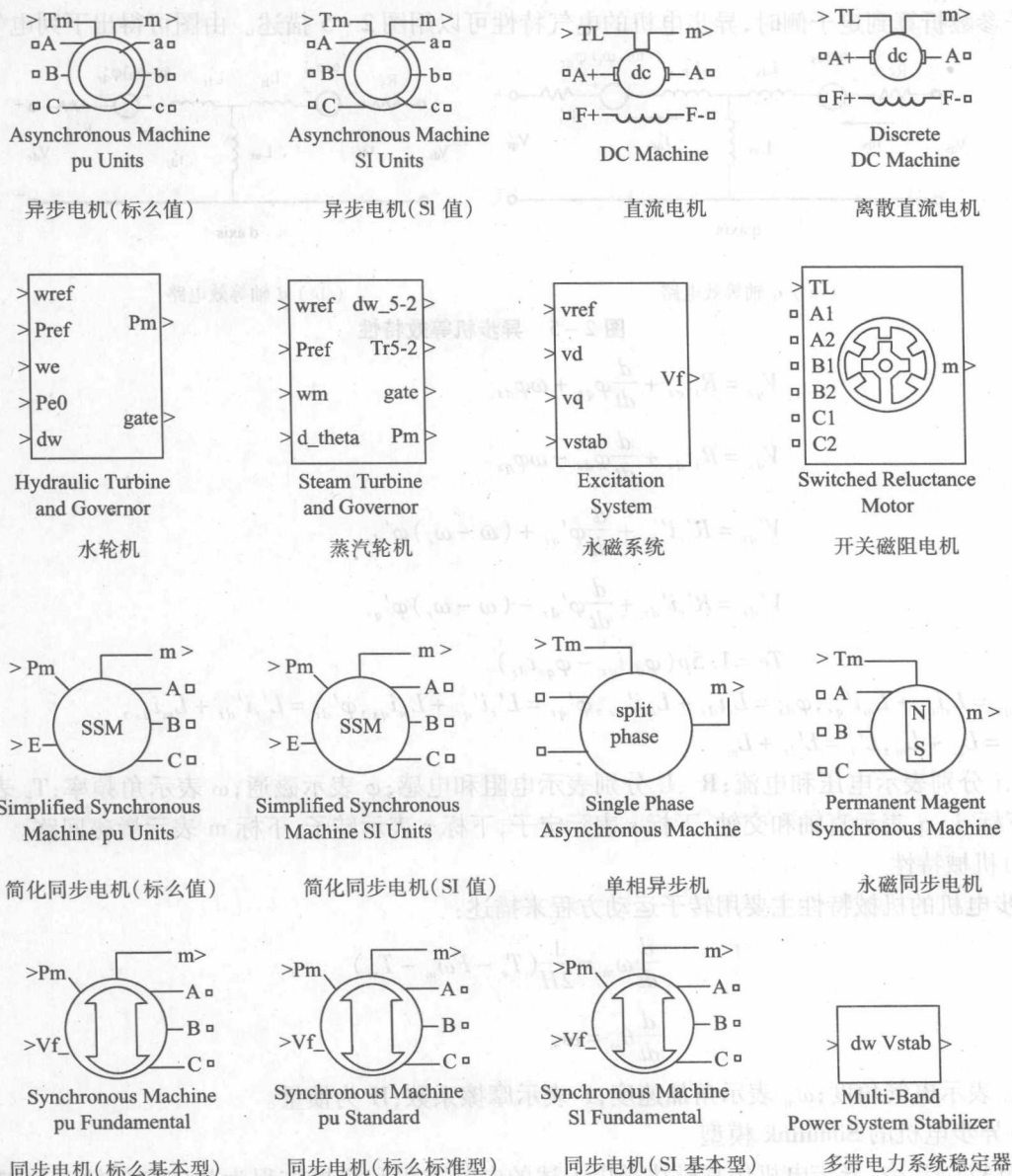
以上模块库基本包含了电力系统仿真的所有元件。通过 PSB 中的以上各模块库,就可以进行电力系统稳态,暂态计算,以及各种控制方式下的仿真分析。

第三节 MATLAB 电力系统模块库分析与介绍

下面就将实验中常用的模型库一一作以介绍。

一. 电机元件库

电机元件库如图 2-4 所示,它包含了多种形式的电机模块,如简单的同步电机、永磁同步电机、直流电机、异步电机、原动机调节器、励磁调节器、电力系统稳定器以及专用的电机电量测量。这里只代表性地介绍异步机和同步机的使用用法和建模技巧。



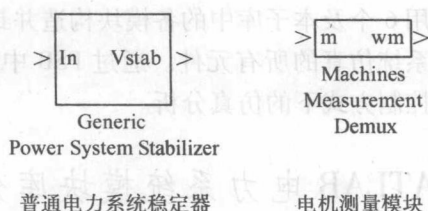


图 2-4 电机元件模型

1. 异步电机 (Asynchronous Machine)

异步电机包括电气和机械两个部分,前者可以用一个四阶状态模型表示,后者可以用二阶模型表示。

(1) 电气特性

通过坐标变换,电机可以从静止三相坐标系转换到旋转坐标系中(例如 d-q 轴系)。当把异步电机转子参数折算到定子侧时,异步电机的电气特性可以用图 2-5 描述。由图可得出下列电气方程:

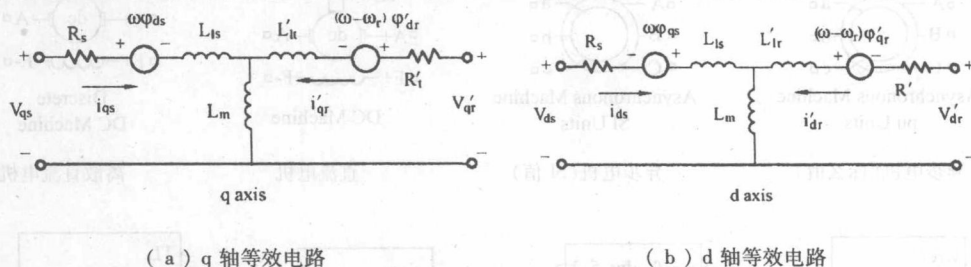


图 2-5 异步机等效特性

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega \varphi_{ds} \quad (2-1)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega \varphi_{qs} \quad (2-2)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{qr} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr} \quad (2-3)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{dr} - (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr} \quad (2-4)$$

$$T_e = 1.5p(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \quad (2-5)$$

式中: $\varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}$, $\varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr}$, $\varphi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs}$, $\varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds}$,
 $L_s = L_{ls} + L_m$, $L'_r = L'_{lr} + L_m$

V、i 分别表示电压和电流;R、L 分别表示电阻和电感;φ 表示磁通;ω 表示角频率;T_e 表示电磁转矩;下标 d、q 表示直轴和交轴,下标 s 表示定子,下标 r 表示转子,下标 m 表示激磁回路。

(2) 机械特性

异步电机的机械特性主要用转子运动方程来描述:

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} (T_e - F \omega_m - T_m) \quad (2-6)$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m \quad (2-7)$$

式中: θ_m 表示电气角度;ω_m 表示角加速度;F 表示摩擦系数;H 为惯量。

(3) 异步电机的 Simulink 模型

在 MATLAB 中,异步电机仿真模块是以上述的电气方程和机械方程为基础实现的。关键是如何利用参数对话框设置其模块参数,获得所需要的电机模型。在电机元件库中,异步机有两种模型,一种是实名制下的,一种是标么制下的,本质上两者并没有区别。图 2-6 是实名制下的异步电机属性

参数对话框,其主要参数的意义分别为:

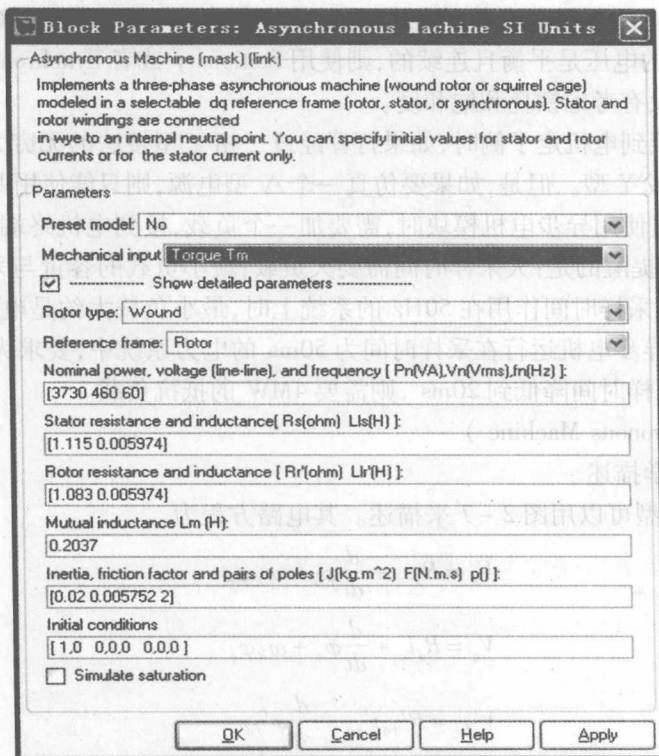


图 2-6 异步电机属性参数对话框

- (a) Preset model: 用于选择现成的模型,此参数框的下拉菜单中提供了 20 多参数可供选择。
- (b) Mechanical input: 用于选择机械输入的类型,有转矩和角速度两种。
- (c) Rotor type: 用于选择异步电机转子类型,可供选择的有鼠笼式和绕线式(Wound)两种。
- (d) Reference frame: 用于选择仿真的参考坐标系,可供选择的有旋转轴系(Rotor)、静止轴系(Stationary)和同步轴系(Synchronous)三种。
- (e) Nominal power, voltage, and frequency: 用于设置发电机额定功率,线电压和频率。
- (f) Stator resistance and inductance: 用于设置定子电阻和电感。
- (g) Rotor resistance and inductance: 用于设置转子电阻和电感。
- (h) Mutual inductance: 用于设置互感。
- (i) Inertia, friction factor and pairs of poles: 用于设置发电机惯量,阻尼因子,极对数。
- (j) Initial conditions: 用于指定初始转差率 s 、电气角度、定子电流幅值和相位角。

对于绕线式电机,可以随意指定转子电流的幅值和相位角;但对于鼠笼式电机,其初始条件要根据 Powergui 模块中的负载潮流功能计算得出,不能随意指定其参数。

异步电机模块的仿真输入(T_m)是加在机械轴上的机械转矩。当输入是正的仿真信号时,异步电机就表现为电动机,如果输入是负的仿真信号时,异步电机就表现为发电机。而仿真输出(m)提供了包含 21 个信号的测量向量。这些测量信号包括转子电压、电流和磁通,定子电压、电流和磁通,转速,电磁转矩,转子角速度等。可以用 Simulink 库中提供的 Bus Selector 模块分解这些信号。

异步电机模块的定子终端用 A、B、C 字母标出,转子终端用 a、b、c 标出(当转子选择为绕线式时)。需要注意的是:

① 参考坐标系的选择影响到所有 d、q 变量的波形,也影响到仿真速度,在有些情况下也会影响到仿真结果的精确度。现推荐以下三条应用准则:

准则 1: 如果定子电压不平衡或者不连续,而转子电压是平衡的(或者为 0),则使用 Stationary 参

坐标系；

准则 2 :如果转子电压不平衡或者不连续,而定子电压是平衡的,则使用 Rotor 参考坐标系;

准则 3 :如果所有的电压是平衡且连续的,则使用 Stationary 或者 Synchronous 参考坐标系。

② 异步电机模块没有考虑铁耗和饱和度。

③ 当把理想电源接到电机定子侧时,如果打算经过三相 Y 型接法的无穷大电压源向定子提供电流,则三个电压源要结成 Y 型。但是,如果要仿真一个 Δ 型电源,则只能使用两个串联电源。

④ 当在离散系统里使用异步电机模块时,需要加一个负载,接到电机终端,以避免所获得的仿真数值的较大波动。需要提醒的是:大采样时间需要大负载;最小负载的容量与采样时间成正比。根据这个原则,规定 25ms 的采样时间作用在 50Hz 的系统上时,最小负载大约是电机额定功率的 2.5 %。比如,一台 200MVA 的异步电机运行在采样时间为 50ms 的电力系统中,要求大约 5 % 的阻性负载或者说 10MW。如果采样时间降低到 20ms,则需要 4MW 的抵抗负载。

2. 同步电机(Synchronous Machine)

(1) 同步电机的数学描述

同步电机的数学模型可以用图 2-7 来描述。其电路方程为

$$V_d = R_s i_d + \frac{d}{dt} \varphi_d - \omega_R \varphi_q \quad (2-8)$$

$$V_q = R_s i_q + \frac{d}{dt} \varphi_q + \omega_R \varphi_d \quad (2-9)$$

$$V'_{fd} = R'_{fd} i'_{fd} + \frac{d}{dt} \varphi'_{fd} \quad (2-10)$$

$$V'_{kd1} = R'_{kd1} i'_{kd1} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kd1} \quad (2-11)$$

$$V'_{kq1} = R'_{kq1} i'_{kq1} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kq1} \quad (2-12)$$

$$V'_{kq2} = R'_{kq2} i'_{kq2} + \frac{d}{dt} \varphi'_{kq2} \quad (2-13)$$

式中: $\varphi_d = L_d i_d + L_{md} (i'_d + i'_{kd})$; $\varphi_q = L_q i_q + L_{mq} i'_{kq}$; $\varphi'_{fd} = L_{md} (i_d + i'_{kd}) + L'_{fd} i'_{fd}$;

$\varphi'_{kd} = L'_{kd} i'_{kd} + L_{md} (i_d + i'_{fd})$; $\varphi'_{kq1} = L'_{kq1} i'_{kq1} + L_{md} i_q$; $\varphi'_{kq2} = L'_{kq2} i'_{kq2} + L_{md} i_q$;

其中下标 f、k 分别表示转子励磁绕组和阻尼绕组, l 表示漏抗。需要注意的是,在 MATLAB6.5 中,同步电机等效电路中的定子 d、q 轴电流的标示方向与其方程并不相符。

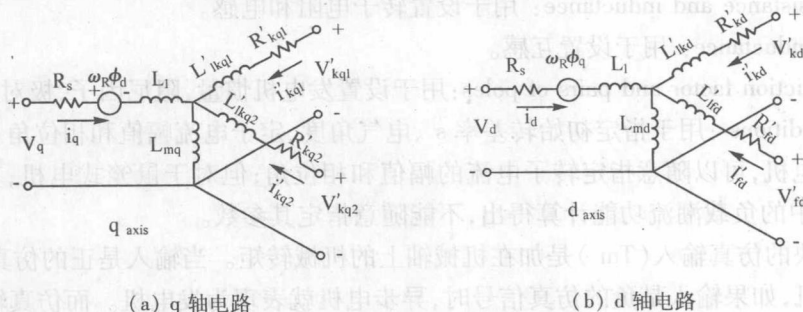


图 2-7 同步电机原理等效电路

(2) 同步电机 Simulink 模型

在电机元件库中,同步电机的模型有五个,即两个简化模型、一个实名制下的原理模型、一个标么值下的原理模型和一个标么值下的标准模型。原理模型和标准模型的属性参数对话框如图 2-8 所示。其主要参数的意义分别讲述如下:

(a) Preset model:用于选择现成的模型,此参数框的下拉菜单中提供了 20 多参数可供选择。

(b) Mechanical input:用于选择机械输入的类型。有转矩和角速度两种。