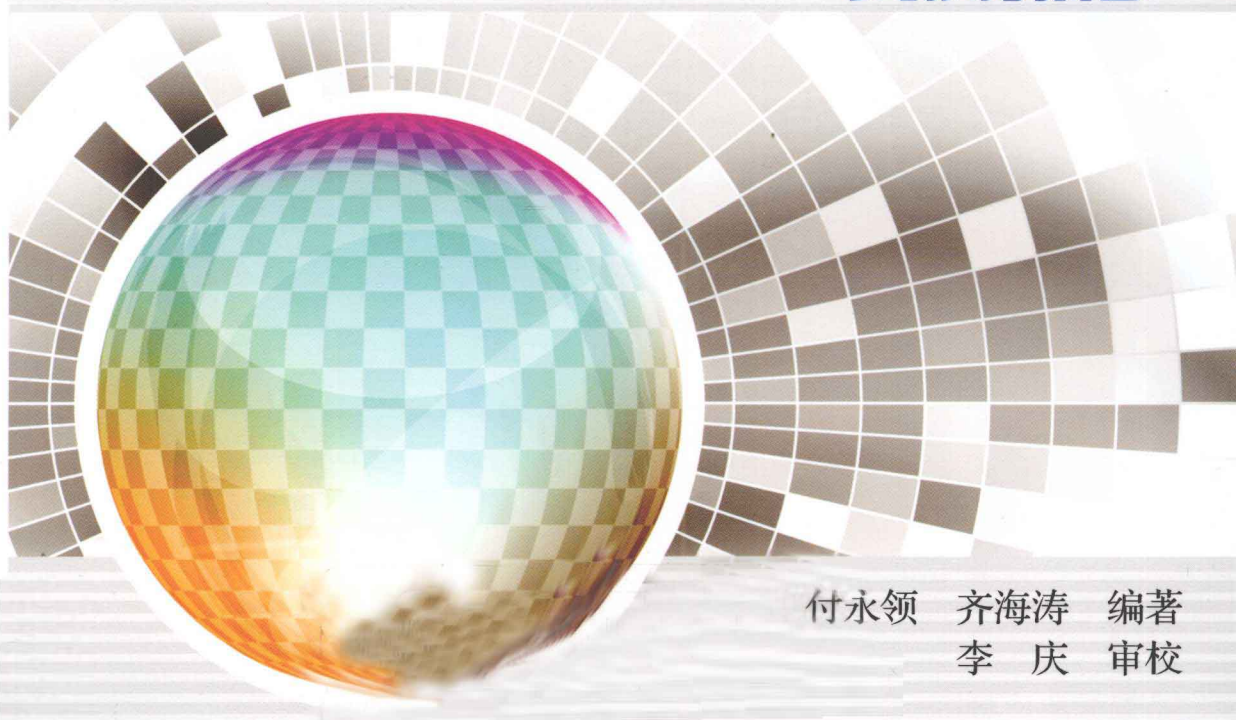


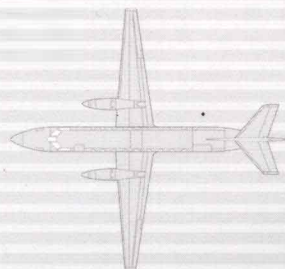
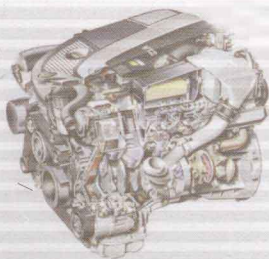
LMS Imagine. Lab AMESim

系统建模和仿真

实例教程



付永领 齐海涛 编著
李 庆 审校



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程

付永领 齐海涛 编著
李 庆 审校

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

LMS Imagine. Lab AMESim REV10 是比利时 LMS 公司于 2010 年 11 月推出的最新版本,提供了一个系统工程设计的完整平台。用户在这个单一平台上可以建立复杂的多学科领域的系统模型,并在此基础上进行仿真计算和深入分析。本书以“实例教程”的方式介绍了 AMESim 在 UNIX 工作站和个人计算机上的使用方法。全书共 10 章,主要内容包括初级实例、高级实例分析,高级特点,如批处理运行和线性分析、超级元件工具、脚本工具和活性指数工具的应用,与其他应用程序的接口技术,以及系统设计优化分析工具等。本书本着实用的原则,内容由浅入深,讲解循序渐进,力求使初学者真正学会使用 AMESim。

本书适用于所有使用和需要使用 AMESim 的读者,包括科学研究和工程技术人员以及理工类本专科院校的学生等。

图书在版编目(CIP)数据

LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程
/付永领,齐海涛编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2011.7

ISBN 978-7-5124-0518-9

I. ①L… II. ①付…②齐… III. ①机械设备—电气控制系统—系统建模—应用软件, AMESim—教材②机械设备—电气控制系统—系统仿真—应用软件, AMESim—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 139920 号

版权所有,侵权必究。

LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程

付永领 齐海涛 编著

责任编辑 史 东

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:461 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷 印数:6 000 册

ISBN 978-7-5124-0518-9 定价:39.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:010-82317024

序言一

机械、电气、液压、气动、控制系统在国防领域和工农业生产设备中有着广泛的应用,其技术水平和产业化程度关系到国家核心竞争力的强弱。日本曾经立法,大力发展以机电液气控为核心的机械电子技术,经过十几年的努力,已经使其在机器人、自动控制、照相机和录像机、液压气动、车辆和舰船以及火箭等领域都有很大发展并处于国际领先地位。中国已经进入制造业大国行列,但是自主设计和创新设计的能力与水平还亟待提高。现代产品的设计,要求在尽可能短的时间内以最低的成本推出新的产品,故必须根据动态性能指标要求来设计系统,从系统的角度优化设计元部件。这样才能设计出性能优良的产品,满足日益激烈的市场竞争和愈加苛刻的技术要求,增强自主创新能力。

由于机械、电气、液压、气动、控制系统的非线性以及研发过程耗时和耗资巨大,业内人士很早就开始运用仿真和优化手段进行设计。系统仿真技术从最初的机械、液压系统仿真,逐渐发展到今天可以进行机、电、液、气、控、热、电磁等多学科综合系统仿真,成为系统虚拟优化设计的主流技术。这样的长足进步,除了借助于计算机技术的迅猛发展外,更决定于系统仿真工具软件自身的进步。其中比利时 LMS 公司开发的系统工程高级建模和仿真软件包 LMS Imagine. Lab AMESim,能够从元件设计出发,可以考虑摩擦、油液和气体的本身特性、环境温度等非常难以建模的部分,直到组成部件和系统进行功能性能仿真和优化,并能够联合其他优秀软件进行联合仿真和优化,还可以考虑控制器在环构成闭环系统进行仿真,使设计出的产品完全满足实际应用环境的要求。AMESim 作为系统仿真的标准平台,得到了世界各国用户的一致认可。

该书以“实例教程”的方式介绍了 AMESim 软件的基本功能和使用方法,可以帮助读者深入学习多学科系统建模和仿真的方法,为读者进行原创设计提供了很好的支持。

北京航空航天大学

王占林

2011年2月

序言二

产品的开发经历了从物理样机驱动的开发流程到模型驱动的开发流程的转变。今天,产品设计又面临着新的挑战:一方面是系统本身越来越复杂,智能控制系统的采用越来越多,如何有效地考虑机电一体化系统的开发,特别是如何综合地考虑控制系统和受控对象的耦合问题,成为产品开发的关键之一;另一方面,产品开发的全球化又要考虑来自不同地区、不同研发部门或供应商的系统如何集成,特别是在设计的早期如何通过系统的集成确保产品设计的成熟性,已成为现今全球产品开发面临的棘手问题。第一个问题就要求在产品的开发过程中协调和同步物理系统和电控系统的开发,以确保产品的质量;后一个问题则要求在横跨不同地区的部门之间无缝地共享产品方案、设计和分析,以确保协同的工作。这两方面问题的系统解决方案就是基于模型的系统工程,即通过应用模型来支持系统的需求定义、设计、分析、校核和验证,从概念设计阶段开始一直贯穿整个开发流程。也就是说,现代产品的开发已经转向模型驱动的开发流程。

AMESim 是由原法国 Imagine 公司开发的多领域系统仿真集成平台,可以创建和运行多物理场仿真模型,以分析复杂的系统特性;支持控制系统的设计,从早期的技术参数确定到子系统测试(硬件在环)。2007 年,Imagine 公司由比利时 LMS 国际公司全资收购。AMESim 作为 LMS 公司重点开发的基于模型的系统工程设计解决方案的重要组成部分,在 2007 年由 LMS 国际公司推出了全新的多领域系统仿真集成平台 LMS Imagine. Lab,同时作为平台的重要组成部分,AMESim 也升级为全新的软件产品 LMS Imagine. Lab AMESim。在延续了 AMESim 原有功能和特点的基础上,LMS Imagine. Lab AMESim 功能更加强大,覆盖的应用领域更加宽广。另外,结合 LMS Imagine. Lab 平台中的 LMS Imagine. Lab SysDM,用户可以实现存储和管理横跨不同部门的机械和控制的模型以及数据;通过 LMS Imagine. Lab System Synthesis,可以支持配置管理、系统集成和架构验证。这样,LMS 国际公司为模型驱动的开发提供了突破性的、完整的解决方案。

为了更好地为中国用户服务,LMS 北京航空航天大学教研培训中心于 2006 年出版了《AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通》一书。该书得到了广大工程师的好评,为国内工程师熟练掌握多领域系统仿真奠定了坚实的基础。随着 LMS Imagine. Lab AMESim 的不断升级,其在软件平台、分析工具、Modelica 支持、软件接口以及专用的解决方案等各方面功能上得到进一步加强。为了帮助国内的工程师尽快掌握和应用这些新的功能,LMS 北京航空航天大学教研培训中心对《AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通》一书进行了全面地升级修订,

针对不同读者对象,改为《LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程》和《LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册》两本书相继出版。书中既有理论说明,又有实例佐证;既可以作为 AMESim 初级用户的指导老师,又是 AMESim 高级用户的得力助手,同时也可作为广大科学工作者和工程技术人员进行系统建模和仿真工作的重要参考书。

随着国内工程师应用水平逐步提高,LMS 北京航空航天大学教研培训中心还将陆续出版关于 LMS Imagine. Lab 的系列书籍,以帮助中国用户迅速掌握基于模型的系统工程设计平台,为提高中国用户的产品设计能力尽微薄之力。

再次感谢以付永领教授为代表的 LMS 北京航空航天大学教研培训中心的辛勤工作。

LMS 中国区总经理



2011 年 6 月于北京

前 言

LMS Imagine. Lab AMESim (Advanced Modeling Environment for Simulation of engineering systems) 为多学科领域复杂系统建模仿真平台。用户可以在这个单一平台上建立复杂的多学科领域的系统模型,并在此基础上进行仿真计算和深入分析,也可以在这个平台上研究任何元件或系统的稳态和动态性能。AMESim 最早由法国 Imagine 公司于 1995 年推出,2007 年被比利时 LMS 公司收购。其最新版本是 LMS Imagine. Lab AMESim REV 10,由比利时 LMS 公司于 2010 年 11 月推出。

AMESim 采用基于物理模型的图形化建模方式,为用户提供了可以直接使用的丰富的元件应用库,使用户从繁琐的数学建模中解放出来,从而专注于物理系统本身的设计。

目前,AMESim 已经成功应用于航空航天、车辆、船舶、工程机械等多学科领域,成为包括流体、机械、热分析、电气、电磁以及控制等复杂系统建模和仿真的优选平台。

由于 AMESim 的特点及其具有的优势,它在外国的某些大学、研究设计单位和工业部门早已成为一种建模和仿真的标准软件。在我国也有越来越多的科学工作者参加到学习和倡导这种软件应用的行列中。笔者很早就开始接触并使用 AMESim,在使用过程中意识到,其作为一种高级建模和仿真平台,必将有助于我国建模和仿真领域的发展,为自主创新提供一种很好的借鉴。

本书是编者 2006 年出版的《AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通》的升级版中文教材。书中未涉及的 AMESim 软件使用特性,可以参考《LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册》。

本书主要由付永领、齐海涛编著,李庆审校。参加编写的还有祁晓野、李万国、于黎明、陈娟、马俊功、马纪明、王岩以及课题组的研究生等。另外,本书的出版得到了比利时 LMS 公司及其中国总部的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平及时间有限,错误和不妥之处在所难免,望广大读者批评指正。

编 者

2011 年 2 月

本书为读者免费提供相关资料(LMS Imagine. Lab AMESim 论文集),如申请索取或咨询与本书相关的其他问题,请联系理工事业部,电子邮箱 goodtextbook@126.com,联系电话 010-82317036。

目 录

第 1 章 引 言	1
第 2 章 初级实例	3
2.1 启动 AMESim	3
2.2 创建新草图	4
2.2.1 创建新系统	4
2.2.2 锁定按钮	5
2.2.3 库与类	5
2.3 实例 1: 质量块-弹簧系统的仿真	7
2.3.1 搭建质量块-弹簧系统模型	7
2.3.2 给元件分配子模型	9
2.3.3 设置参数	11
2.3.4 运行仿真	14
2.3.5 绘制仿真结果曲线	16
2.3.6 使用回放功能	19
2.3.7 保存和退出 AMESim	21
2.4 实例 2: 一个简单的机械系统	21
2.4.1 搭建连线	22
2.4.2 在草图上显示标注	23
2.4.3 参数设定	25
2.4.4 改变参数数值	27
2.4.5 子模型、参数名和变量名的别名	27
2.4.6 设置参数并运行仿真	29
2.4.7 使用 External variables(外部变量)功能	30
2.4.8 绘制曲线	31
2.4.9 使用旧的最终值	33
2.4.10 放大图形	34
2.4.11 连续运行	34
2.4.12 使用模型历史功能	35
2.4.13 模型属性	36
2.5 实例 3: 使用隐含变量的系统	42
2.5.1 一个图标的多个子模型	42
2.5.2 信号端口	43

2.5.3	隐含变量	46
2.6	实例 4: 有代数环的系统	47
第 3 章	高级实例	50
3.1	简介	50
3.2	获取 AMESim 演示实例	50
3.3	实例 1: 四分之一车模型(续)	50
3.3.1	状态计数工具	50
3.3.2	动态运行和稳态运行	53
3.3.3	存储/加载数据	57
3.3.4	向图中添加文本	58
3.4	使用结果管理器	58
3.4.1	创建后处理变量	59
3.4.2	创建多回路后处理变量	60
3.4.3	与保存的曲线数据对比	62
3.5	使用实验视图	62
3.6	实例 2: 转动惯量	66
3.6.1	用于转速和扭矩的符号法则	67
3.6.2	数据采样中的失真	68
3.6.3	不连续性和不连续性的输出	68
3.7	实例 3: 汽车悬挂系统	69
3.7.1	同时显示两个或更多 AMESim 系统	71
3.7.2	选择元件、连线和文本	71
3.7.3	复制、删除、剪切和粘贴操作	72
3.7.4	比较不同悬挂系统的车体位移	75
3.7.5	编辑现有文本	75
3.8	实例 4: 凸轮操纵阀	76
3.8.1	系统描述	76
3.8.2	系统仿真	77
3.8.3	创建 X-Y 曲线	80
3.8.4	使用绘图管理器	81
3.8.5	修改已绘制曲线的特征	82
3.9	实例 5: 车辆传动系统	84
3.9.1	使用表格编辑器创建 1D 表格数据文件	84
3.9.2	建立系统并设置参数	85
3.9.3	运行仿真	87
3.9.4	动态模块	88

第 4 章 批处理运行和线性分析	90
4.1 简介	90
4.2 实例 1: 四分之一车模型	90
4.2.1 选择性保存	91
4.2.2 批处理运行	92
4.2.3 使用后处理和交叉结果	97
4.3 实例 2: 以弹射器为例讲解锁定状态	101
4.3.1 锁定状态介绍	101
4.3.2 实例	101
4.3.3 锁定状态	104
4.3.4 误差类型	107
4.4 实例 3: 一个简单质量块-弹簧系统的线性分析	107
4.4.1 线性分析	108
4.4.2 特征值分析	110
4.4.3 平衡位置	113
4.5 实例 4: 一个质量块-弹簧阻尼系统的频率响应分析	113
4.5.1 Bode 图、Nichols 图和 Nyquist 图	114
4.5.2 根轨迹分析	116
4.6 实例 5: 一个机械系统的模态分析	118
第 5 章 超级元件工具	126
5.1 简介	126
5.2 创建并配置一个超级元件	126
5.3 使用标准图标来构造 PID 控制器的超级元件	129
5.3.1 平面系统和包含超级元件系统的比较	129
5.3.2 创建一个超级元件	131
5.3.3 为超级元件设置图片	134
5.4 超级元件工具	136
5.4.1 使用超级元件子模型	136
5.4.2 展开超级元件	136
5.4.3 改变超级元件的参数	137
5.4.4 绘制超级元件的变量曲线	137
5.5 管理超级元件	139
5.5.1 超级元件的类型	139
5.5.2 多层次的超级元件	139
5.5.3 显示可用的超级元件及其所属的库	140
5.5.4 删除一个超级元件或库	140
5.5.5 修改一个超级元件	141

5.6	使用自己的图标构建一个 PID 控制器的超级元件	142
5.6.1	创建超级元件库	143
5.6.2	创建超级元件图标	145
5.7	创建一个包含全局变量参数的通用超级元件	150
5.8	为通用超级元件的全局变量赋值	156
第 6 章	AMESim 脚本工具	158
6.1	简介	158
6.2	系统要求	158
6.3	设置使用环境	159
6.3.1	使用 Python	159
6.3.2	使用 MATLAB	159
6.3.3	使用 Scilab	159
6.3.4	使用 VBA	160
6.4	设置工作区	160
6.5	实例	160
6.5.1	基本概念	160
6.5.2	自动操作任务的脚本编写	173
6.5.3	使用标识符	188
6.5.4	响应面模型 RSM 的使用	192
6.5.5	将线性系统模型导入 AMESim	202
第 7 章	应用程序接口 API	209
7.1	启动 API	209
7.2	使用 API 函数	210
7.2.1	列出模块中的可用函数	210
7.2.2	获取函数的详细信息	211
7.2.3	创建一个脚本文件	211
7.3	创建一个包含 API 的 AMESim 仿真模型	211
7.3.1	创建系统	212
7.3.2	给系统添加元件	212
7.3.3	设置子模型	215
7.3.4	连接部件	216
7.3.5	设置参数值	217
7.3.6	创建全局参数	222
7.3.7	编译代码	222
7.3.8	设置运行参数	223
7.3.9	运行仿真	223
7.3.10	获取变量值	224

7.4 管理脚本	225
7.4.1 日志文件和错误管理	225
7.4.2 一键创建复杂的脚本	227
第 8 章 活性指数	230
8.1 简介	230
8.2 数学定义	230
8.3 使用 AMESim 活性指数工具	231
8.3.1 实例 1: 车辆传动系统	231
8.3.2 实例 2: 三柱塞泵	235
8.3.3 小结	243
第 9 章 AMEPilot 和输出模块基础	244
9.1 简介	244
9.2 多项式积分器	244
9.2.1 设置输出	245
9.2.2 运行仿真	248
9.2.3 使用复合输出参数	249
第 10 章 AMESim 设计探索功能入门	252
10.1 简介	252
10.2 主动悬挂系统	252
10.3 试验规划	255
10.4 优化	261
10.5 蒙特卡罗和 RSM 研究	264
10.6 蒙特卡罗和统计研究	270

第 1 章 引 言

AMESim 作为系统仿真的标准平台具有以下一些特点：

(1) AMESim 在自身的单一平台上实现了多学科领域的系统工程的建模和仿真，比如机械、液压、气动、热、电和磁等物理领域。不同领域模块之间的直接的物理连接方式使得 AMESim 成为多学科领域系统工程建模和仿真的标准环境。

(2) AMESim 的智能求解器能够根据用户所建模型的数学特性自动选择最佳的积分算法，并根据不同仿真时刻的系统特点动态地切换积分算法和调整积分步长以缩短仿真时间和提高仿真精度。内嵌式自动的数学不连续性处理工具解决了数字仿真的难题——间断点问题。

(3) AMESim 基本元素的理念，即从物理系统中提取出的构成工程系统的最小要素，使得用户可以用尽可能少的要素来建立尽可能详细的反映工程系统和零部件功能的复杂模型。

(4) AMESim 的使用者定位为工程技术人员，建模的语言是工程技术语言。基于物理模型的图形化建模方式使得 AMESim 成为在汽车、航空、航天和工业研发部门的理想选择。仿真模型的扩充或改变都是通过图形用户界面(GUI)来进行的，不需要编写任何程序代码。

(5) AMESim 系列产品中的 AMESet 为用户提供了一个标准化、规范化和图形化的二次开发平台。用户不仅可以直接调用 AMESim 所有模型的源代码，而且还可以把用户自己的 C 或 FORTRAN 代码模型以图形化模块的方式综合进 AMESim 软件包。AMESet 可以将用户在 AMESim 上建立的模型生成标准化的 C 或 FORTRAN 代码，并为此生成相应的标准的说明文档。

(6) AMESim 保留了四个级别的建模方式：数学方程级、方块图级、基本元素级和元件级。不同的用户可以根据自己的特点和专长选择适合自己的建模方式，或综合使用多种方式。

(7) AMESim 提供了齐全的分析工具，以方便用户分析和优化自己的系统：线性化分析工具，如系统特征值的求解、Bode 图、Nichols 图、Nyquist 图、根轨迹分析，模态分析工具，频谱分析工具，如快速傅里叶变换(FFT)、阶次分析(Order Analysis)、频谱图(Spectral maps)，以及模型简化工具，如活性指数(Activity Index)。

(8) AMESim 具有多种仿真运行模式，如动态仿真模式、稳态仿真模式、间断连续仿真模式以及批处理仿真模式。

(9) AMESim 提供了丰富的与其他软件的接口：

控制软件接口——MATLAB, MatrixX；

多维软件接口——VL Motion, Adams, Flux, Simpack；

实时仿真软件接口——xPC, dSPACE；

优化软件接口——OPTIMUS, iSIGHT；

数据处理接口——Excel。

本书介绍了 AMESim 在 UNIX 工作站和 PC(个人计算机)上的使用方法, PC 需要安装 Windows(XP/2000/Vista 或 Windows 7)或 Linux 操作系统。对于大多数情况, 在两种环境下

的操作基本一致;当要区分具体环境时,首先给出 UNIX/Linux 环境下的描述,随后是 Windows 环境下的描述。

本书的组织结构如下:

第 1 章简单介绍 AMESim 的特点及本书的组织结构。

第 2 章介绍几个初始实例。建议新用户首先阅读本章的内容并作相关的练习,这需要 3~4 小时。此后,应该能够使用 AMESim 作基本的仿真了。

第 3 章介绍几个高级实例。

第 4 章介绍一些 AMESim 更高级的特点。理想情况下,应该在使用 AMESim 大约 3 个星期后阅读本章。

第 5 章介绍超级元件工具。

第 6 章介绍使用脚本功能的有效工具。

第 7 章介绍应用程序接口 API 及其使用。

第 8 章讲解如何使用活性指数工具。这是一个在系统子模型内基于能量变换的强大分析工具。

第 9 章介绍 AMEPilot 和输出模块基础。

第 10 章介绍 AMESim 设计探索工具。

在本书中未涵盖的 AMESim 软件使用特性,可以参考《LMS Imagine.Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册》。

第 2 章 初级实例

本章主要介绍 AMESim 及其基本功能,讲解如何创建一个基本系统,如何对参数进行设定,如何运行仿真以及如何通过绘图来显示结果。

另外讲解 4 个实例,使用 AMESim 主要功能模块搭建工程系统,对动态特性进行分析。本章所讲的实例都是可扩展的,在每一个实例的最后都给出了可供进一步研究的建议。

做完这些实例后,就应该能够使用标准 AMESim 元件和子模型进行简单的仿真了。

2.1 启动 AMESim

使用 UNIX 操作系统:

首先设置好工作环境以便进入 AMESim。要启动 AMESim,可在合适的窗口将路径设置为希望的工作路径,然后输入:

```
AMESim
```

使用 Windows 操作系统,可按以下方法之一进行操作:

- 启动开始按钮,选择 All Programs(所有程序)→LMS Imagine. Lab AMESim →AMESim;
- 双击桌面上的 AMESim 图标;
- 在 MS DOS 命令窗口输入 AMESim,并按 Enter 键。

图 2.1 所示为 AMESim 主界面。

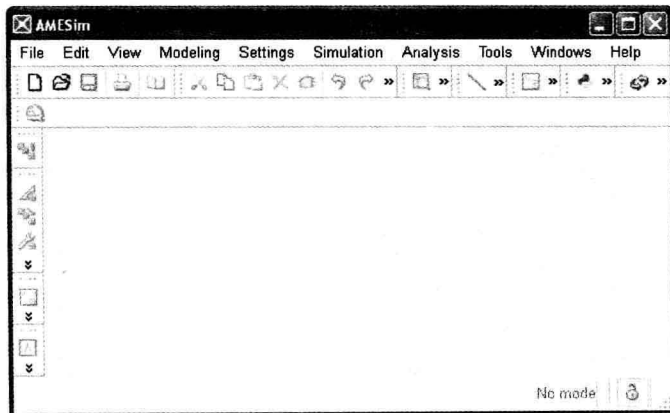


图 2.1 AMESim 主界面

因没有打开或创建模型,所以该主界面是空的。


要搭建一个系统,必须创建一个新模型,然后才能在计算机上设计草图,存储系统。

2.2 创建新草图

本节介绍在 AMESim 中如何创建一个新草图。

2.2.1 创建新系统

要创建一个新的系统草图,按以下方法之一进行操作即可:

- 单击 Create a new system(创建新系统)图标,将出现如图 2.2 所示的窗口。

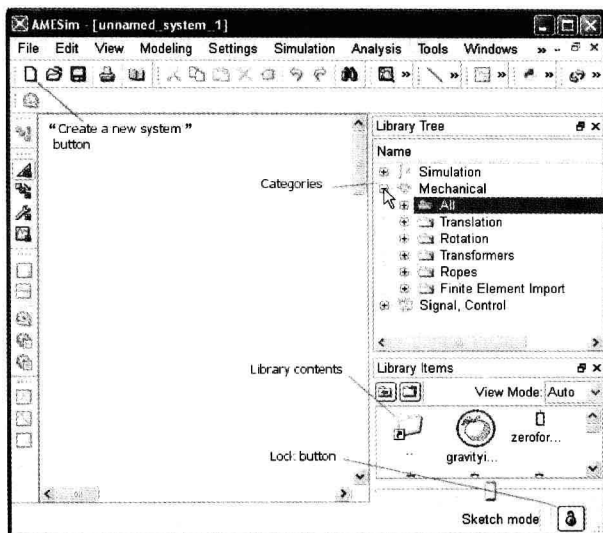


图 2.2 创建新的系统模型

- 按 Ctrl+N 键。
- 在主界面中选择 File(文件)→New(新建),将弹出图 2.3 所示的对话框,单击 OK 按钮后能够得到如图 2.2 所示的窗口。

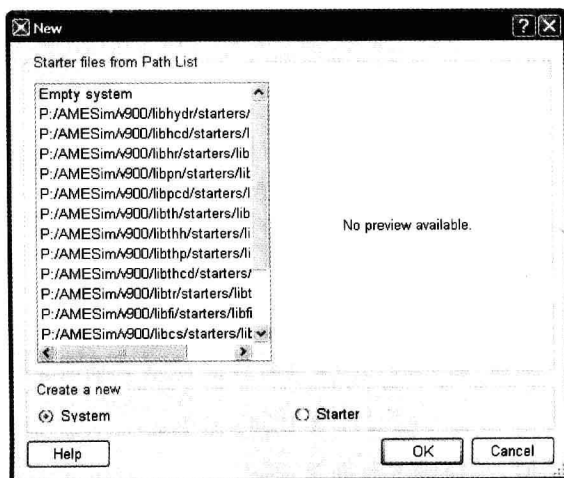


图 2.3 选择新建系统的类型

进行仿真的第一步就是搭建要研究的系统草图,通过挑选并把各个元件放置在合适的位置即可完成系统的搭建。

2.2.2 锁定按钮

锁定按钮,位于 AMESim 窗口的右下角(见图 2.2),用于锁定和解锁一个系统。

当打开一个空系统时,它是解锁状态,这时可以搭建系统草图。如果打开一个已有系统,通过单击这个按钮可以使它解锁,以便进行修改。

锁定按钮是一个安全装置,防止由于偶然因素改变系统。如果不能修改系统,则系统很可能处于锁定状态。

当该按钮处于锁定状态时,不能对系统草图进行修改。

单击该按钮,可以在锁定和解锁状态下互相切换。默认情况下,这个按钮处于解锁状态。

2.2.3 库与类

类是特定元件图标及其数学模型的集合,其相应图标位于主窗口的工具栏中。类隶属于库。每一个库包含一个或多个类。每个类又可以分为一个或多个子类,使之易于使用。

如图 2.4 所示。AMESim 提供了 3 个标准库:

- ✚ Mechanical, 机械库;
- ✚ Simulation, 仿真库;
- ✚ Signal, Control, 信号、控制库。

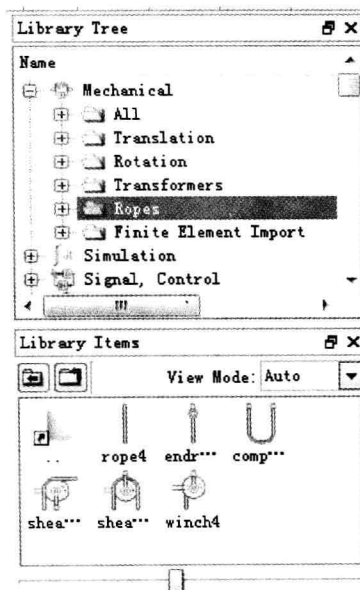


图 2.4 库的分类

其中, Mechanical(机械)库包含 All(所有,包含所有类元件图标)、Translation(平移,进一步划分为 Translation 子类), Rotation(旋转,进一步划分为子类)、Transformers(变压器)、Ropes(绳索)和 Finite Element Import(有限元输入)多个类。