

# 《电气控制电路》课程的教学仿真演示系统<sup>①</sup>

张新亮, 钟富平

(重庆工业职业技术学院 机械工程学院, 重庆 401120)

**摘要:** 虚拟仿真实验的应用能够提高理实一体化教学的效果、提高学生的学习兴趣以及有效的避免硬件实验的各种不利因素, 达到降低教学成本、促进教学改革的目的. 从实用的角度出发, 提出了一种以 FLASH 软件进行面向对象开发的电路仿真软件开发的新思路, 给出了软件实现的一个整体架构方案以及所有功能模块的具体实现方法. 实践结果表明, 该开发思路可行, 相应软件的教学应用效果良好. 软件可用在电气工程设计的仿真测试中, 同时具有强大的可持续研发及系统升级能力.

**关键词:** FLASH; 电气控制; 电路仿真; PLC 仿真; 电机控制; 仿真软件

## Implementation of Teaching Simulation Demo System of Electrical Control Circuit Using FLASH AS3

ZHANG Xin-Liang, ZHONG Fu-Ping

(Mechanic Engineering College, Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China)

**Abstract:** The application of virtual simulation experiment can improve the effect of theory and practice integrated teaching, improve students' learning interest, and avoid various unfavorable factors of hardware experiment effectively, to achieve the goal of reducing teaching cost and promoting teaching reform. A new idea of circuit simulation software development based on FLASH software's object-oriented development is proposed in this paper from the viewpoint of practical applications, an overall architecture scheme of software realization and the whole function modules' realization method are given also. The practice results indicate that, the development thinking is feasible, the teaching application of corresponding software have a good effect. The software can be used in the simulation testing of electrical engineering design, and also has a strong ability of sustainable research and system upgrade.

**Key words:** FLASH; electric control; circuit simulation; PLC simulation; motor control; simulate soft

高校电气控制与 PLC 及相关专业的教学应做到理论和实训并重, 理实密切结合, 强调技术应用. 传统硬件实验存在成本高、器材老化后不能及时补充、强电实验有安全风险及电路搭接的时空局限等弊端. 虚拟实验近几年在高校教学中得到了日益广泛的运用, 但电气控制仿真软件的开发和应用目前还是相当困难的, 开发工作量大, 技术要求高, 开发周期长.

采用 FLASH 软件进行面向对象的电路仿真软件开发有很多优越性, 但目前大多数基于 FLASH 的仿真软件还仅停留在用 FLASH 制作形象生动的演示型课件或动画, 其实 FLASH MX2004 以后, 其强大的功能已能开发出交互性强的仿真软件. 本文以机电专业

常见控制电路为仿真目标, 提出了一种以 FLASH 软件为开发工具, 以 AS3 为编程语言, 面向对象方法开发虚拟电路实验平台的新思路, 该思路经历了实践的考验, 具有可持续研发性和升级能力, 能为将来更复杂、功能更多的仿真系统开发起指导作用和技术支撑, 为教学和工程设计相关应用软件的开发提供大方向.

### 1 电气控制仿真软件开发的整体架构思路

仿真系统应能提供一个良好的交互界面, 能准确地计算并模拟实际实验状态和仪器操作状态, 能正确判断用户的操作流程, 对不当操作进行屏蔽或提示.

<sup>①</sup>收稿时间:2013-12-16;收到修改稿时间:2014-01-13

### 1.1 系统的界面组成

电路仿真可分平面和立体仿真两种，它们的仿真原理完全一样，不同在于，平面仿真的元件是基于原理图符号，元件的机电动作基于简单的平面指示性动作和图形颜色区别，立体仿真基于立体实物，元件内部包含模拟仿真实物的机电动作，立体元件可拆解并可 360 度旋转观察内部某一机电模块。

主要针对电气控制中的电源供配电、传统继接控制、PLC 控制、辅助电路及三相异步电动机主电路这 5 类电路进行仿真研究。仿真系统的主界面组成<sup>[1]</sup>及平面或立体仿真界面的组成如下图 1 所示。

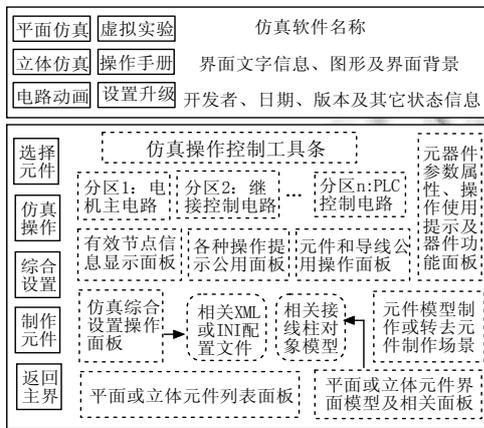


图 1 仿真系统的界面架构

#### 1.1.1 系统主界面

主界面为仿真系统的第一个场景，包含软件功能列表面板、软件标题、界面背景、图文信息、开发者版本信息及状态信息等。通过功能列表面板上的功能按钮可进入相应的功能场景。“虚拟实验”用来仿真硬件电路实验过程及考核，“电路动画”里包含常见电气控制电路的控制和教学动画。“操作手册”包含软件各处的使用方法、元件介绍及部分原理。“设置升级”具有配置参数和进行软件升级的功能，参数包括界面参数及各大功能所需的各种柔性参数，升级功能主要是实现元件库及属性库等升级后的新 swf 文件覆盖。本文主要研究平面和立体仿真的实现。

#### 1.1.2 平面或立体仿真界面

点“选择元件”影片可打开或关闭元件列表面板，面板上所有元件都是根据元件列表文件所列条目导入进来，面板具有翻页功能。点击面板上的元件可打开或关闭元件属性面板，面板上有元件的子元件、子元

件参数设置及已添加到电路中的该类元件信息列表等，设置好参数后可点“添加”按钮添加到电路分区。

点“仿真操作”影片可打开或关闭仿真操作控制面板，包含节点及等效元件显示、电路检测、电路计算、电路重新连接、电路分区、电路文件保存、实验启动和仿真教程等几大操作功能，操作所针对的既可以是某几个电路分区，也可以是全部分区。仿真过程中，短路和断路等电路检测信息、电路有效节点信息、各种操作不当提示及电路执行中产生的提示信息等这些

信息需要显示出来，可用一个公用的影片来显示，影片的不同帧对应不同的信息界面。点“综合设置”影片打开或关闭仿真设置面板，包括仿区设置、元件操作设置、导线绘制及操作设置及元件信息显示设置等几大功能，每个功能各用一帧界面处理，配置数据写入 XML 或 INI 格式的配置文件中。上述 5 大类型电路，仿真时可能同时出现几种类型，同一类型的也可能出现多个，所以需要进行仿真分区，各区电路之间可以有电气联系。可采用手动配置和添加分区，也可采用系统默认的自动分区。

点“制作元件”影片打开/关闭元件模型设计面板或专门的元件制作场景，用户可根据执行规则设计自己的电气元件模型，然后发送到服务器端进行人工或自动编译和升级推送。

### 1.2 系统面向对象的程序组成

仿真系统的面向对象程序组成<sup>[2]</sup>如下图 2 所示。

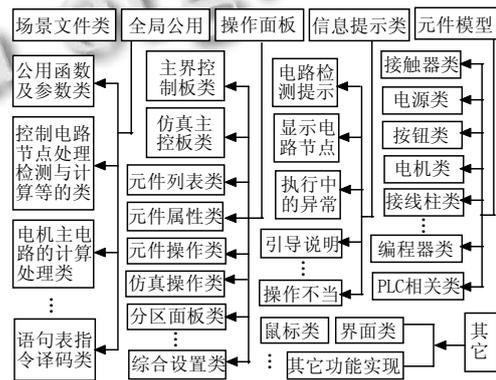


图 2 仿真系统的程序架构

“场景文件类”是软件 fla 文件相关联的类，主要实现界面设计、初始化一些类对象、读取 XML 配置文件、场景信息控制和界面尺寸变化对应元件大小和位置变化的处理等功能。

对于一些全局都可使用的参数和公用、常用的处理函数,可用一个类来封装,该类在场景类中实例化和对象初始化.对每一类型的电路都建立各自的检测及运算处理类,对 PLC 控制电路,还要建立专门的类来实现循环扫描的仿真和语句表指令的译码等功能.

各程序类对应的影片如图 1 所示,各控制板类主要实现控制板的界面效果、文字及鼠标、点击效果和点击的功能等.“综合设置类”的仿区设置功能,用来在场景中手动或自动建立各种电路分区,“分区面板”类主要实现分区拖移、尺寸拖拽缩放、电气设置、界面设置、各操作控制及分区的属性显示等功能.通过“元件属性类”添加功能,可将配置好参数的元件添加到所选分区,元件显示的位置是元件所在的电路分区尺寸范围里的一个随机位置.

一些影片的简单操作提示,可在影片内部实现各提示的显示与隐藏.对于元件的属性、功能和实时参数值等的显示可在“元件操作类”中实现,元件操作板中信息显示的方式可配置.系统还设计了一个信息输出专用面板及关联类,该类主要实现电路检测、有效节点、操作不合法等信息和仿真中即时信息的提示.

每类元件都有各自的界面构成和关联类,该类主要实现元件拖动、电气参数和状态实时监测、操作面板显示及得失电操作处理等功能.对于 PLC,相关类有 PLC 模型类<sup>[3]</sup>、编程器类、指令译码类、定时器类、计数器类和其它需要独立的功能类等,实现 PLC 的外围和内部仿真.定时器和计数器等类之所以独立出来没在译码类里实现是因为系统为它们提供了专门的影片界面,可选择在执行程序时该界面是否显示给用户看.为了模拟程序的编写及传输环境,开发出计算机、硬件编程器、数据线等影片及关联类.

系统的界面美化可用自定义的美化类和控件来实现,鼠标指针形状的改变可使用自定义的鼠标类实现,系统的其它功能也都有专门的界面和关联类来实现.

### 1.3 元件、接线柱和导线的组成与操作

每个平面或立体元件影片都有一个关联类,元件一般由多个子影片构成,每个元件都包含接线柱影片对象,可以 jat、jbt、jct 等来标志元件上的各接线柱.

接线柱对象是仿真实现的核心,通过元件上的接线柱可进行导线的绘制和连接,鼠标双击某元件(起始)接线柱开始画线<sup>[4]</sup>,再次鼠标双击某元件(目标)接线柱导线绘制完成,以字符串“起始元件名+‘-’+接线柱标

志名+‘-’+导线编号”作为导线对象,以供将来执行导线移动、删除等操作使用.把导线添加进导线序列的一维字符串数组,每个字符串代表一根导线,如“k1-jat\*j2-jbt,1,0”.该导线序列数组是进行产生接点、处理节点、统计节点已经电路检测和电路运算的基础.

对添加到电路分区的元件和连接导线,可共用一个操作面板(对应类为“元件操作类”)用一帧或两帧界面,实现元件和导线的移除移动和显示等设置、编辑、属性和元件的其它信息(如元件作用和使用方法)显示等操作,操作和信息显示都可在该面板下的不同帧界面里实现.

## 2 各类电路的仿真实现方案

### 2.1 仿真系统供配电处理

各分区电路可单独供电,为了仿真实际中的供配电,可在供配电类型的分区里搭接供电电路,为其它类型分区的电路集中供电,原理如下图 3 所示:

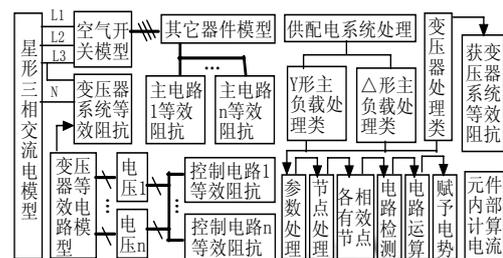


图 3 集中供配电的仿真原理

建立星形连接三相交流电、空气开关、单相变压器及其它相关供配电器件的元件模型和关联类,在三异电机主电路的处理中可计算出主电路各相的等效阻抗.变压器的输出电压有多种,分别给不同的控制电路或辅助电路供电,在控制电路和辅助电路的处理中,可计算出电路的等效阻抗.然后根据变压器的等效原则,将变压器副边的各控制电路或辅助电路折算到原边,可计算出整个变压器系统的等效阻抗.

针对三异电机的 Y 型和  $\Delta$  型接法分别创建供配电电路处理类,将供电对象电路作为一个黑匣子处理,只需要知道供电对象的阻抗,就可根据供电电路的连接进行参数处理、节点的特殊处理、统计各相有效节点、电路检测及各相的节点电压法运算,然后把计算出的各节点势赋给供电电路的各元件或黑匣子,最后在元件或黑匣子内部进行自动的运算和相关处理.

### 2.2 传统继接控制电路和辅助电路的仿真

控制电路及辅助电路的供配电和仿真原理<sup>[5]</sup>基本一样, 仿真操作及原理如下图 4 所示:

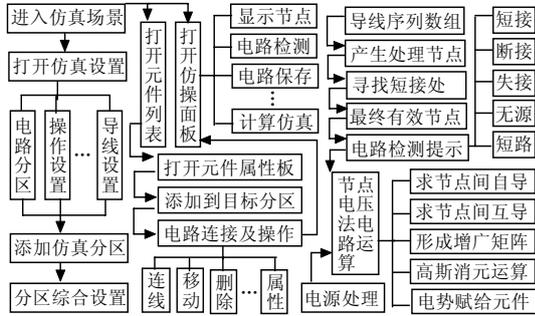


图 4 控制电路仿真操作及仿真原理

在仿真场景里打开综合设置面板, 进行分区、元件、导线和信息等的设置并存储到配置文件, 然后在分区设置界面里向舞台添加一个或多个控制电路类型分区, 对添加的分区进行拖动、缩放及电气和界面设置后通过元件属性面板向选择的分区添加元件, 最后执行鼠标连线操作<sup>[7]</sup>完成电路搭接。电路连接和仿真的任何阶段都允许对电路中的元件和导线进行连接、移动、删除和显示属性等操作, 若操作时已启动仿真, 系统可自动进行电路检测并作相关提示。

导线序列数组是一维字符串数组, 每个字符串都包含导线的起始元件和终端元件的元件名、导线序号和导线类型等信息。清除所有元器件上各接线头的电气网络节点号后, 根据导线序列数组里的内容给所有元器件的接线柱赋予节点号并简化处理节点号, 把所有连接到同一处的都赋同一节点号。然后寻找所有短接的地方, 把短接的地方都置同一节点号, 最后统计电路网络的所有有效节点并进行电路检测, 判断出短路、断路、短接和失接等情况并弹出对应提示。

为计算各支路电压和电流, 可用支路电流法、回路电压法、节点电位法和割集等方法求解。本文采用节点电位法进行运算。先进行电源的处理, 把常用的电压源转换成电流源模型, 然后根据获取的电路网络有效节点及各节点相关的元件求出节点间的自导和互导, 最后根据节点电位法原理建立电路节点方程, 这是一个多元一次线性方程组, 可采用高斯消去法原理来求解。求出各节点的电势后便可将电势赋给所有相关元件的对应接线柱电位上, 在元件关联类里进行不断的自动运算求解元件两端的电压, 进而计算流过元

件的电流和其它电气参数。为配合供配电电路的运算, 对控制电路采用多次单独供电, 根据控制电路主支路的电流和电压, 用统计方法获取控制电路的等效阻抗。

### 2.3 PLC 控制电路的仿真

以三菱 FX2N32MR-001 型号的 PLC 为对象建立元件模型, PLC 控制电路仿真原理<sup>[6]</sup>如下图 5 中所示:

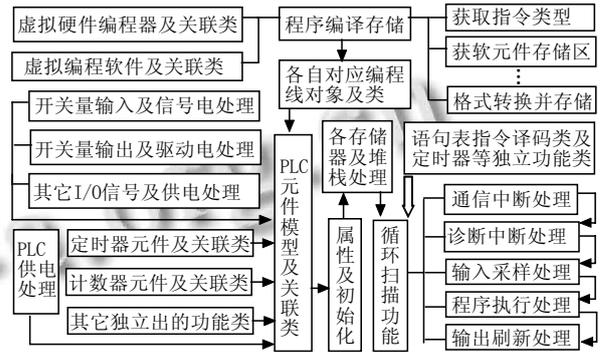


图 5 PLC 外部及内部仿真原理

虚拟编程器主要模拟语句表指令的编写输入、程序的检查、程序的编译及与虚拟 PLC 的双向通讯等几大功能, 这些功能是在虚拟编程器类和虚拟通讯线类里实现。程序的编写和输入按实际软硬件模拟, 程序的检查主要包括指令有无、指令格式、大小写及语法等检查。程序输入检查后可进行编译存储, 包括获取指令类型(按操作数个数分)和操作步数、获取指令中操作数对应的存储区及格式转换并存储等。格式转换主要是转换成方便执行的格式, 包含指令能够正确执行需要的信息和特殊处理。用虚拟编程器, 配合相应的虚拟编程线, 配置好通讯双方相关参数后便可模拟编程和传输操作。编程线类里检查线两端设备的参数和线的状态来判断通讯的状态并产生相应指示。

除 I/O 指示灯外, 该 PLC 上还有 4 个状态指示灯: power、run、batt.v 和 PROGE(CPU.E); 根据相关手册介绍的各指示灯亮、闪亮和灭的触发条件, power 和 run 在 PLC 关联类里自动检测触发条件, batt.v 和 PROGE 在循环扫描的自诊断中断处理程序中自动检测各触发条件并控制灯。开关量 I/O 信号指示灯的状态是在外围输入处理和内部输出刷新处理中控制。

供给 PLC 的交流电接通后, power 指示灯亮, 在 PLC 模型的关联类里处理供电并产生 24V 直流, 并给 PLC 的输入公共端和各开关量输入接口等效电路赋予定好的固定节点号, 供开关量输入接口电路计算用。

针对开关量 I/O 信号的仿真,根据该 PLC 相关手册给出的输入输出规格,建立各 I 口和 O 口等效电路模型,在电源处理程序里完成如上所述的该等效模型的节点号处理,统计所有使用的 I 口或 O 口电路有效节点,然后进行电路检测及采用节点电位法计算各节点电势,最后分别在输入接口等效电路里和输出驱动对象里计算并判断输入继电器和输出电路的驱动对象是否得电.其它类型 I/O 信号,解决思路大同小异.

PLC 内部仿真相关的类有 PLC 模型类、语句表译码类、定时器类、计数器类及其它需独立的类等. PLC 关联类<sup>[8]</sup>主要实现软元件区、指令集、译码类对象及 PLC 相关软硬件参数的定义和初始化,还要自动运算和检查外部 I/O 状态及 POWER、RUN 状态,最后开启循环扫描仿真.循环扫描功能是由语句表译码类实现,含通讯、自诊断、输入采样、程序执行和输出刷新.通信功能可实时检测外部编程器通信信号并中断处理,将程序存储到 PLC 类中可变数组中.采样功能可把外围输入电路的运算结果采到输入存储区,程序执行功能主要是逐条读取程序并译码,每个指令都有对应的译码函数处理,输出刷新功能主要实现输出映像区状态输出到锁存器并执行外围输出电路计算.

#### 2.4 三相交流异步电动机主电路的仿真

三异电机主电路的仿真原理如下图 6 所示:

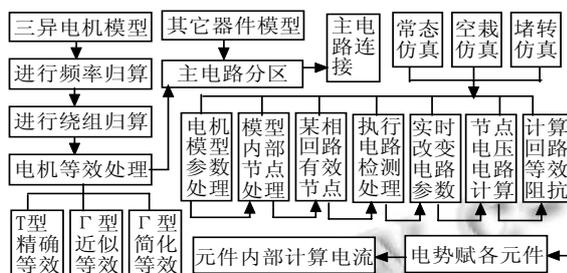


图 6 三相交流异步电动机主电路的仿真原理

创建三异电机和主电路相关的其它元器件的模型及关联类,为方便主电路的电气运算,需对三异电机进行等效处理,将转子回路折算到定子回路侧,为此需要根据电机模型的一些基本参数进行频率归算和绕组归算.等效电路分精确、近似和简化三种,相关处理程序可在电机关联类里实现,可根据需执行其中一种等效模型程序.在主电路类型的分区里添加电机、热继电器及接触器触头等元件,然后进行电气连接,根

据外界要求进行对应模型参数的调整,进而做正常运转、空转和堵转等条件下的仿真.电路的运算处理是在专门的三异电机主电路运算类里实现,主要进行不同实验条件下模型参数的处理、电机等效模型内部节点处理、统计主回路某相的有效节点、电路检测、节点电压法运算和计算该相的等效阻抗,最后把节点电势赋给各元件并进行元件内部的自动运算.

#### 3 结语

以机电专业常见电气控制电路为仿真目标,经大量的理论和实践研究,结合前人的基础研究成果,本文给出了一种以 FLASH 软件为开发工具及采用 AS3.0 进行面向对象编程的电路仿真软件开发的新方法,该方法思路清晰,编程相对简单,充分利用了 FLASH 的交互功能,是开发虚拟仿真实验的一种有效方法.作为院级重点项目的成果,相应仿真软件已被开发出来并用于相关课程的教学,结果表明,该软件的应用能够提高理实一体化教学的效果、提高学生的学习兴趣 and 避免硬件实验的各种不利因素,该软件有强大的可持续研发和升级的能力,也可用于电气工程设计中.

#### 参考文献

- 1 吕辉.Flash/Flex ActionScript 3.0 交互式开发详解.北京:电子工业出版社,2008.
- 2 张猛.Flash ActionScript 3.0 实训课堂.北京:人民邮电出版社,2008.
- 3 息涛,孙丽,邢江月. Flash 脚本语言 as3.0 实践与难点探讨.辽宁大学学报,2009,36(4):342-345.
- 4 孙希强,杨玉强.Flash 实现智能电路连线课件.中国现代教育装备,2007(10):76-77.
- 5 罗卫东.用 Flash AS3 设计与实现电路实验仿真课件.物理教师,2008,29(9):48-49.
- 6 王琳,吉逸.基于 FLASH 技术的虚拟仿真实现开发.人工智能及识别技术,2007(1):1438-1440.
- 7 程海生.Flash as3 连线题制作类的设计、实现与应用.电脑编程技巧与维护,2013(3):22-24.
- 8 周军宏.基于 FlashAS3 的化工仿真实验开发.福建电脑,2010,26(11):167-168.