

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

印制电路板 设计与制作

主 编 闫 青 贾连芹 王家敏
副主编 王占奎 袁科新 刘 芹



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以典型的应用实例为主线,介绍 Altium Designer 软件的使用方法。

本书共由 4 个项目构成,每个项目通过从简单的工作过程到复杂的工作过程,详细介绍了 Altium Designer 软件中原理图设计和印制电路板设计两部分内容。其中,原理图设计部分包括原理图设计、层次原理图设计、原理图元器件符号设计与修改等部分;印制电路板设计部分包括双面 PCB 设计、单面 PCB 设计、元器件封装设计等部分。

本书结构合理、入门简单、层次清楚、内容详实,并附有习题,可作为大中专院校电子类、电气类、计算机类、自动化类及机电一体化类专业的 EDA 教材,也可作为广大电子产品设计工程技术人员和电子制作爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

印制电路板设计与制作 / 闫青, 贾连芹, 王家敏主

编. —上海: 上海交通大学出版社, 2023. 6

ISBN 978-7-313-28071-8

I. ①印… II. ①闫…②贾…③王… III. ①印刷电路-电路设计-高等职业教育-教材②印刷电路-制作-高等职业教育-教材 IV. ①TN41

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 097044 号

印制电路板设计与制作

YINZHI DIANLUBAN SHEJI YU ZHIZUO

主 编: 闫 青 贾连芹 王家敏

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 制: 北京荣玉印刷有限公司

开 本: 889mm×1194mm 1/16

字 数: 444 千字

版 次: 2023 年 6 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-28071-8

定 价: 59.80 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-6407 1208

经 销: 全国新华书店

印 张: 15

印 次: 2023 年 6 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 010-6020 6144

目 录

项目 1 手机充电器电路的设计	1
任务 1.1 Altium Designer 软件认识	3
1.1.1 Altium Designer 的发展	4
1.1.2 Altium Designer 的功能	4
1.1.3 Altium Designer 的特点	6
1.1.4 Altium Designer 的安装	6
1.1.5 Altium Designer 的界面	12
1.1.6 Altium Designer 的面板	13
1.1.7 Altium Designer 系统参数设置	14
任务作业	18
任务 1.2 手机充电器电路原理图的绘制	19
1.2.1 项目及工作空间介绍	20
1.2.2 创建一个新项目	21
1.2.3 创建一个新的原理图图纸	22
1.2.4 绘制原理图	24
1.2.5 编译项目	31
任务作业	32
任务 1.3 手机充电器电路 PCB 图的设计	34
1.3.1 印制电路板的分类	35
1.3.2 印制电路板的组成	36
1.3.3 创建一个新的 PCB 文件	38
1.3.4 用封装管理器检查所有元器件的封装	41
1.3.5 导入设计	42
1.3.6 印制电路板设计	43
任务作业	53
项目总结	54

项目 2	USB 鼠标电路的设计	55
任务 2.1	原理图元器件库的创建	57
2.1.1	原理图库、模型库和集成库	58
2.1.2	库文件包和原理图库的创建	58
2.1.3	创建新的原理图元器件	61
2.1.4	设置原理图元器件属性	66
2.1.5	从其他库中复制	67
	任务作业	71
任务 2.2	多部件元器件的创建	73
2.2.1	多部件原理图元器件	73
2.2.2	检查元器件并生成报表的操作	77
	任务作业	79
任务 2.3	PCB 元器件封装的创建	80
2.3.1	PCB 元器件封装介绍	80
2.3.2	创建一个新的 PCB 库	81
2.3.3	新建元器件封装	82
	任务作业	95
任务 2.4	元器件集成库的创建	96
2.4.1	创建集成库	96
2.4.2	集成库的维护	98
2.4.3	集成库维护的注意事项	99
	任务作业	99
任务 2.5	原理图绘制的环境参数及设置方法	100
2.5.1	原理图编辑的操作界面设置	100
2.5.2	图纸设置	102
2.5.3	栅格设置	105
2.5.4	其他设置	106
	任务作业	109

任务 2.6	USB 鼠标电路原理图的绘制	110
2.6.1	绘图准备工作	111
2.6.2	绘制原理图	112
2.6.3	检查原理图	117
	任务作业	119
任务 2.7	PCB 的编辑环境及参数设置	120
2.7.1	PCB 设计环境	120
2.7.2	PCB 编辑环境设置	123
2.7.3	PCB 设置	127
	任务作业	131
任务 2.8	USB 鼠标电路 PCB 的设计	132
2.8.1	创建 PCB	132
2.8.2	导入元器件	135
2.8.3	元器件布局	137
2.8.4	更改元器件封装	141
2.8.5	设计规则设置	149
2.8.6	PCB 布线	151
2.8.7	验证 PCB 设计	155
	任务作业	156
任务 2.9	交互式布线和 PCB 设计技巧	157
2.9.1	交互式布线知识	157
2.9.2	PCB 的设计技巧	162
	任务作业	170
项目总结		170
项目 3	数码抢答器电路的设计	171
任务 3.1	数码抢答器电路原理图的设计	173
3.1.1	层次电路设计	173
3.1.2	自上而下层次电路图设计	176
3.1.3	自下而上层次电路图设计	183
3.1.4	层次电路的切换	186
	任务作业	187

任务 3.2 数码抢答器电路 PCB 的设计	188
3.2.1 新建 PCB 文档	188
3.2.2 设置 PCB	189
3.2.3 检查元器件封装	189
3.2.4 更新 PCB	189
3.2.5 布局 and 布线	190
3.2.6 验证 PCB 设计	191
任务作业	191
项目总结	191
项目 4 多路滤波器电路的设计	192
任务 4.1 多路滤波器原理图的设计	194
4.1.1 多通道电路	194
4.1.2 多路滤波器原理图的设计	195
任务作业	198
任务 4.2 多路滤波器 PCB 的设计	199
4.2.1 规划 PCB	199
4.2.2 更新 PCB 图	200
4.2.3 布局布线	201
4.2.4 更新原理图	202
任务作业	203
任务 4.3 输出文件	204
4.3.1 输出 PDF 文件	205
4.3.2 生成 Gerber 文件	208
4.3.3 创建 BOM	213
项目总结	214
附录 1 常用原理图元器件符号、PCB 封装及所在库	215
附录 2 Altium Designer 错误提示解释	223
附录 3 常用元器件及其封装	226
参考文献	232

项目 1

手机充电器电路的设计

项目概述

现如今,手机在我们日常生活和工作中所扮演的角色愈发重要,对绝大多数普通人而言手机是不可或缺的消费类电子产品。手机在日常生活和工作中所起到的作用,早已从早年间简单的通讯工具,蜕变成为现在便携的社交、娱乐、拍摄和移动办公设备。

2022 年 9 月发布的第 50 次《中国互联网络发展状况统计报告》展示了很多有意思的数据。例如,截至 2022 年 6 月,我国网民规模为 10.51 亿,互联网普及率达 74.4%。网民人均每周上网时长为 29.5 小时,较 2021 年 12 月提升了 1 小时。得益于国产智能手机和移动互联网的发展,我国网民手机上网的比例以绝对的优势领先,占比达到 99.6%。

手机和充电器就像一对亲密无间的好伙伴,即使经历了数次变迁它们依然不离不弃。回顾历史,我们可以发现充电器的充电速度越来越快,手机电池的容量也越来越大,但是我们充电的频率也越来越高。

本项目依托 Altium Designer 软件通过设计手机充电器电路的原理图和印制电路板 (printed circuit board, PCB) 图来掌握简单电路的设计方法。

手机充电器电路原理图如图 1-1 所示,PCB 图如图 1-2 所示。

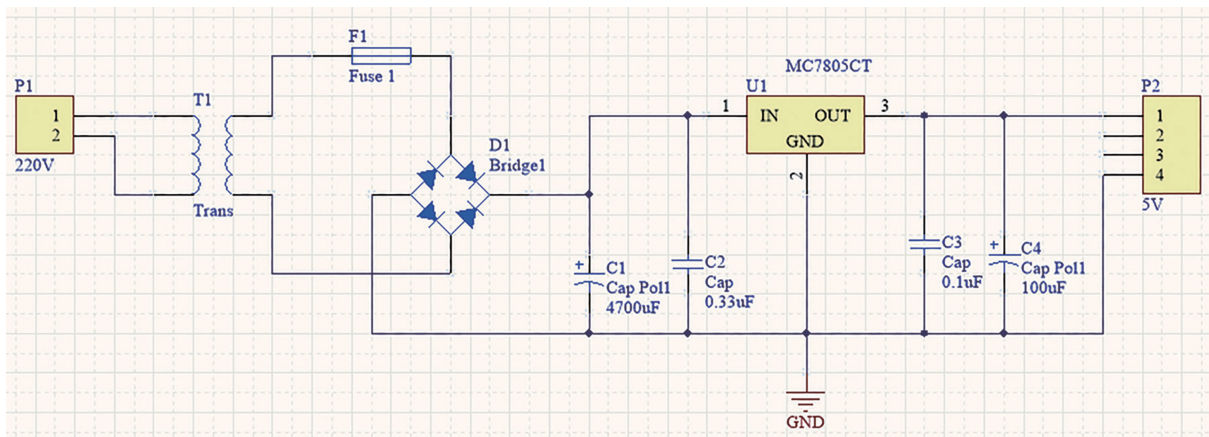


图 1-1 手机充电器电路原理图

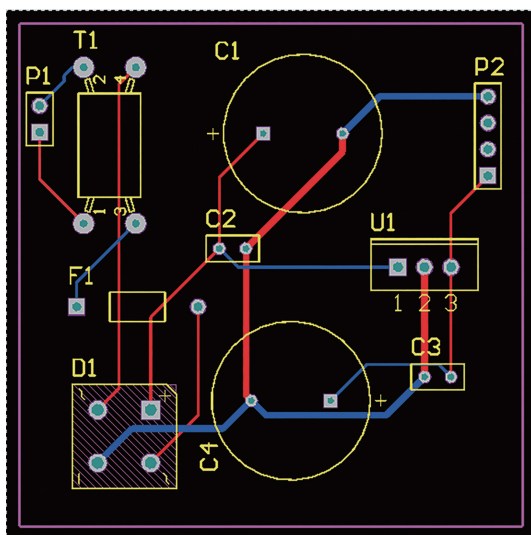


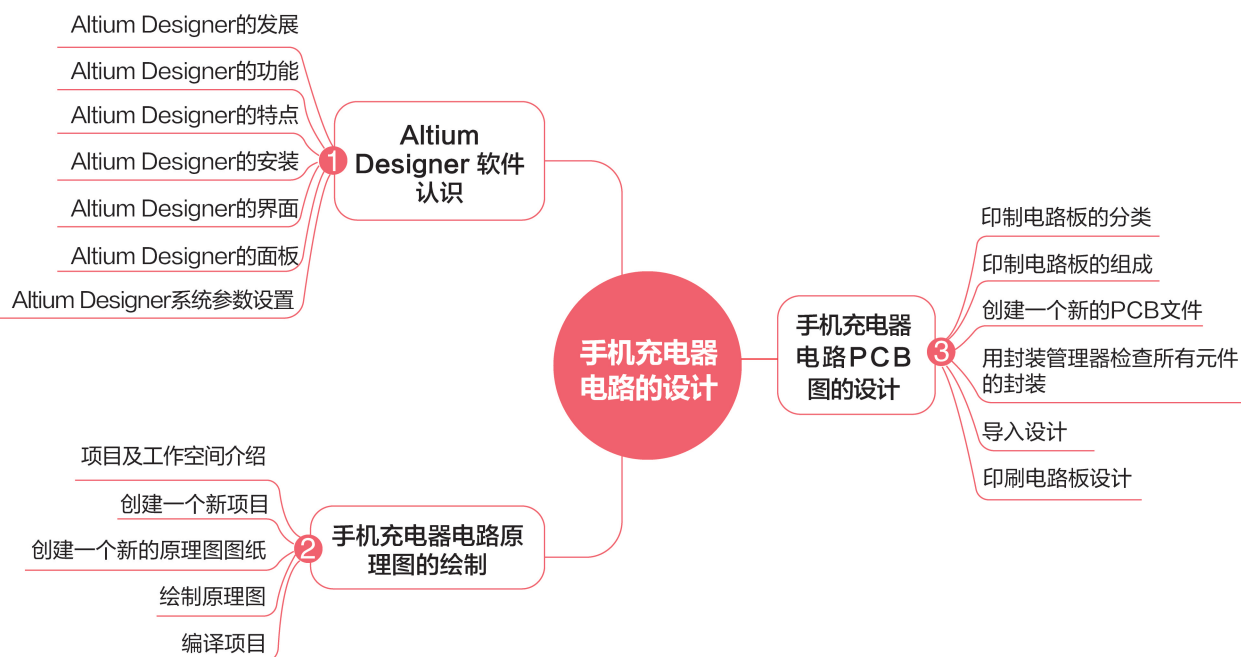
图 1-2 手机充电器电路的 PCB 图

本项目利用问题驱动法,引导掌握手机充电器的电路组成、二极管特性及电路分析等知识;通过仿真练习掌握电路设计的思路和方法,学会设计电路框架,学会分析手机充电器电路。通过该项目的学习,培养知识连通思维。在开展项目学习的过程中,提升主体意识、团体协作能力和知识卫国的情怀。

视野之窗

电子工程师职业要求:具有扎实的理论基础、丰富的电子知识、良好的电子电路分析能力。其中,硬件工程师需要有良好的动手操作能力,能熟练读图,会使用各种电子测量、生产工具;而软件工程师除了需要精通电路知识以外,还应了解各类电子元器件的原理、型号及用途,精通单片机开发技术,熟悉各种相关设计软件,会使用编程语言。另外,良好的沟通能力和团队精神也是一名优秀的电子工程师必不可少的。

项目分解



任务 1.1 Altium Designer 软件认识

学习目标

知识目标

- (1) 了解 Altium Designer 软件的发展及其功能。
- (2) 熟悉 Altium Designer 软件界面。
- (3) 熟悉工作区面板。

能力目标

- (1) 能够进行工作区面板的切换。
- (2) 能够设置 Altium Designer 软件参数。
- (3) 能够将英文编辑环境切换到中文编辑环境。

素质目标

- (1) 具有良好的沟通能力。
- (2) 具有知识卫国的情怀。

学习重点

- (1) Altium Designer 软件的发展。
- (2) Altium Designer 软件的功能。
- (3) Altium Designer 软件的安装。
- (4) Altium Designer 软件的界面设置。

学习难点

- (1) 认识 Altium Designer 软件。
- (2) Altium Designer 软件参数设置。

任务导学

Altium Designer 软件是目前电子设计自动化(electronic design automation,EDA)行业中使用方便、操作快捷、界面人性化的辅助工具,且在中国使用较多,电子类专业的大学生在大学期间基本上学习过,所以学习资源也较广,公司招聘的新人使用此软件也比较容易上手,中国有 73%的工程师和 80%的电子类相关专业在校学生正在使用其所提供的解决方案。

(1) 通过课前预习,了解 Altium Designer 软件。

(2) 了解 Altium Designer 软件的发展历程,掌握 Altium Designer 软件的功能,把疑问记入讨论焦点。

(3) 课中,教师从学生疑问入手,以学生为主体,讨论软件的产生与发展,重点讲解软件的功能及安装的注意事项。

(4) 课中,学生熟悉 Altium Designer 软件的功能。

(5) 课后,学生在自己电脑上进行软件的安装操作。

任务实施与训练

►问题驱动

- (1) Altium Designer 在什么情况下出现?
- (2) Altium Designer 的界面是什么样的?
- (3) Altium Designer 的面板是什么?
- (4) 你理解 Altium Designer 的系统参数设置吗?

1.1.1 Altium Designer 的发展

Altium Designer 是 Altium 公司(澳大利亚)继 Protel 系列产品(Tango1988、Protel for DOS、Protel for Windows、Protel 98、Protel 99、Protel 99 SE、Protel DXP、Protel DXP 2004)之后推出的又一高端设计软件。

Altium 公司的前身为 Protel 国际有限公司,由 Nick Martin 于 1985 年始创于澳大利亚塔斯马尼亚州霍巴特,该公司致力于开发基于个人计算机的软件,为印制电路板提供辅助设计。公司总部位于澳大利亚悉尼。

1991 年,Protel 国际有限公司推出 Protel for Windows。

1998 年,Protel 国际有限公司推出 Protel 98,它是第一个包含 5 种核心模块的 EDA 工具,这 5 种核心 EDA 工具包括原理图输入、可编程逻辑元器件设计、仿真、板卡设计和自动布线。

1999 年,Protel 国际有限公司推出 Protel 99,其功能进一步完善,可以构成从电路设计到板级分析的完整体系。

2000 年,Protel 国际有限公司推出 Protel 99 SE,其性能又进一步提高,可对设计过程有更大的控制力。

2001 年,Protel 国际有限公司变更为 Altium 公司。Altium 公司整合了多家 EDA 软件公司,成为业内的巨无霸。

2002 年,Altium 公司推出 Protel DXP,Protel DXP 引进“设计浏览器(DXP)”平台,允许对电子设计的各方面(如设计工具、文档管理、元器件库等)进行无缝集成,它是 Altium 建立涵盖所有电子设计技术的完全集成化设计系统理念的起点。

2004 年,Altium 公司推出 Protel 2004,对 Protel DXP 进一步完善。

2006 年,Altium 公司推出新品 Altium Designer 6.0,经过 Altium Designer 6.3、Altium Designer 6.6、Altium Designer 6.7、Altium Designer 6.8、Altium Designer 6.9、Altium Designer Summer 08、Altium Designer Winter 09、Altium Designer Summer 09、Altium Designer 10 等版本升级,截至 2022 年,该公司已经推出 22 版本。

Altium Designer 提供一体化的电子设计环境,在单一应用程序中即可完成全部产品研发。一系列独特的设计技术连同 Altium Live、Altium Concord Pro、Altium Nexus 构成了 Altium 设计生态系统,帮助电子设计人员轻松使用最新的元器件与技术进行创新,从设计生态环境的层面来管理项目,实现智能、互联的产品设计。

1.1.2 Altium Designer 的功能

Altium Designer 将原理图编辑与仿真、PCB 图绘制及打印等功能有机地结合在一起,形成了一

个集成的开发环境。在这个环境中,所谓的原理图编辑,就是对电子电路进行原理图设计,它是通过原理图编辑器实现的,同时由它生成的原理图文件为印制电路板的制作做了准备工作。所谓原理图仿真,就是通过软件来模拟具体电路的实际工作过程,并计算出给定条件下各个节点的输出波形,这样可提前发现电路中存在问题,大大减少以后的调试工作量。所谓 PCB 图绘制,就是印制电路板的设计,它是通过 PCB 编辑器来实现的,其生成的 PCB 文件将直接应用到印制电路板的生产中。

1. 电路原理图设计

主要包括原理图编辑器和原理图模型库编辑器两部分,功能如下:

- (1) 绘制和编辑电路原理图等;
- (2) 制作和修改原理图元器件符号或元器件库等;
- (3) 生成原理图与元器件库的各种报表。

2. 印制电路板设计

主要包括 PCB 图编辑器和封装模型库编辑器两部分,功能如下:

- (1) 印制电路板设计与编辑;
- (2) 元器件的封装制作与管理;
- (3) 板型的设置与管理。

3. 电路仿真

Altium Designer 的混合电路信号仿真工具,在电路原理图设计阶段实现对数模混合信号电路的功能设计仿真,配合简单易用的参数配置窗口,完成基于时序、离散度、信噪比等多种数据的分析。Altium Designer 可以在原理图中提供完善的混合信号电路仿真功能,除了支持 XSPICE 标准,还支持对 PSPICE 模型和电路的仿真。

Altium Designer 中的电路仿真是真正的混合模式仿真器,可以用于模拟和数字元器件的电路分析。仿真器采用由乔治亚技术研究所开发的增强版事件驱动型 XSPICE 仿真模型,该模型基于伯克里 SPICE 3 代码,并且与 SPICE3 f5 完全兼容。

4. 可编程逻辑电路设计

Altium Designer 加入了 FPGA 设计的功能,可以支援 VHDL、Verilog 或以电路图设计 FPGA,甚至是 C 语言的混合式设计,可以选定自己喜爱的设计方式完成用户的 FPGA 功能;也加入了嵌入式软体设计,选择 Processor Softcore,建立起以 FPGA 为基础的 SOC,在此之上撰写与执行用户的软体程式。Altium Designer 可自由替换不同 FPGA 供应商芯片的子板。为了搭配 FPGA 设计功能,Altium Designer 推出了功能强大的 Nano Board 开发平台,拥有完整的硬体装置界面,让用户更方便快速地验证 FPGA 设计结果,并且不局限于任何的 FPGA 元器件供应商,使用户的 FPGA 专案设计可以高度移植到不同厂商的装置,如 Actel、Altera、Lattice 或 Xilinx 等 FPGA 芯片。

5. 信号完整性分析

在高速数字系统中,由于脉冲上升/下降时间通常在十到几百皮秒,当受到诸如内连、传输时延和电源噪声等因素的影响时,会造成脉冲信号失真的现象。

在自然界中,存在各种各样频率的微波和电磁干扰源,可能由于很小的差异导致高速系统设计的失败。在电子产品向高密和高速电路设计方向发展的今天,解决一系列信号完整性的问题,成为当前每一个电子设计者所必须面对的问题。业界通常会采用在 PCB 制板前期,通过信号完整性分析工具尽可能将设计风险降到最低,从而也大大促进了 EDA 设计工具的发展。

信号完整性问题是指高速数字电路中,脉冲形状畸变而引发的信号失真问题,通常是由传输线阻抗不匹配产生的问题。

阻抗匹配主要用于传输线上,信号源内阻与所接传输线的特性阻抗大小相等且相位相同,或传输线的特性阻抗与所接负载阻抗的大小相等且相位相同,分别称为传输线的输入端处于匹配状态和传输线的输出端处于阻抗匹配状态,简称阻抗匹配。

信号完整性问题通常不是由某个单一因素导致的,而是板级设计中多种因素共同作用的结果。信号完整性问题的主要表现形式包括信号反射、信号振铃、地弹、串扰等几类。

在 Altium Designer 设计环境下,用户既可以在原理图中又可以在 PCB 编辑器内实现信号完整性分析,并且能以波形的方式在图形界面下给出反射和串扰的分析结果。

1.1.3 Altium Designer 的特点

Altium Designer 是一套完整的板卡级设计系统,实现了在单个应用程序中的集成。它的主要特点如下。

(1)通过设计文件包的方式,将原理图编辑、电路仿真、PCB 设计及打印这些功能有机地结合在一起,提供了一个集成开发环境。

(2)提供了混合电路仿真功能,为正确设计实验原理图电路中的某些功能模块提供了方便。

(3)提供了丰富的原理图元器件库和 PCB 封装库,并且为设计新的元器件提供了封装向导程序,简化了封装设计过程。

(4)提供了层次原理图的设计方法,支持“自上向下”的设计思想,使大型电路设计的工作组开发方式成为可能。

(5)提供了强大的查错功能。原理图中的电气法则检查(ERC)工具和 PCB 的设计规则检查(DRC)工具能帮助设计者更快地查出和改正错误。

(6)全面兼容 Protel 系列以前版本的设计文件,并提供了 Altium Designer 格式文件的转换功能。

(7)提供了全新的 FPGA 设计的功能。

(8)利用可复用的设计模块,可以在更高的抽象层面上构建系统,不需要再从底层构建每个电路图。

1.1.4 Altium Designer 的安装

1. 软件安装

(1)打开文件夹,如图 1-3 所示,双击“installer. Exe”文件。

名称	修改日期	类型	大小
Altium Cache	2022/3/16 22:26	文件夹	
Crack	2022/3/16 22:26	文件夹	
Extensions	2022/3/16 22:26	文件夹	
Metadata	2022/3/16 22:26	文件夹	
autorun.inf	2022/3/16 16:55	安装信息	1 KB
eula.zip	2022/3/16 16:54	WinRAR ZIP 压...	3,526 KB
Extensions.ini	2022/3/16 16:55	配置设置	3 KB
Installer.Exe	2022/3/10 19:53	应用程序	27,195 KB

图 1-3 安装文件操作

(2)弹出对话框、进入欢迎界面,如图 1-4 所示,单击“Next”按钮。

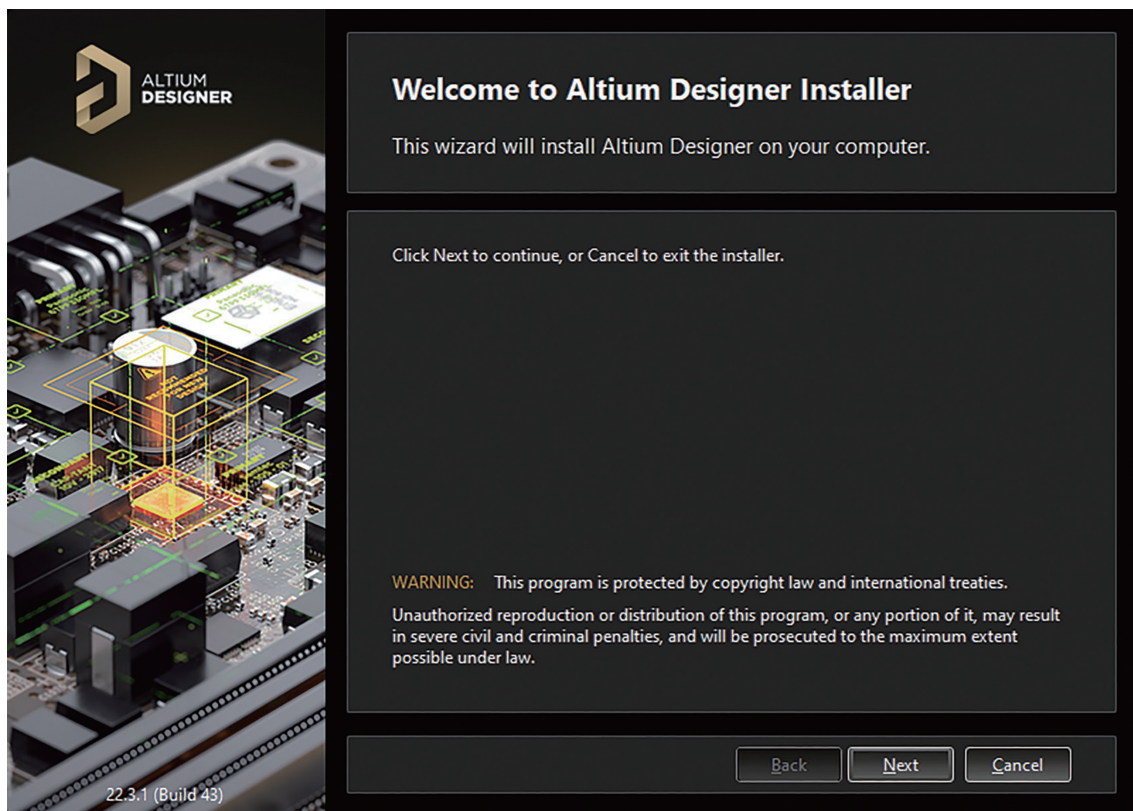


图 1-4 欢迎界面

(3)在弹出的对话框中,按图 1-5 所示选择语言和接受事项,然后单击“Next”按钮。

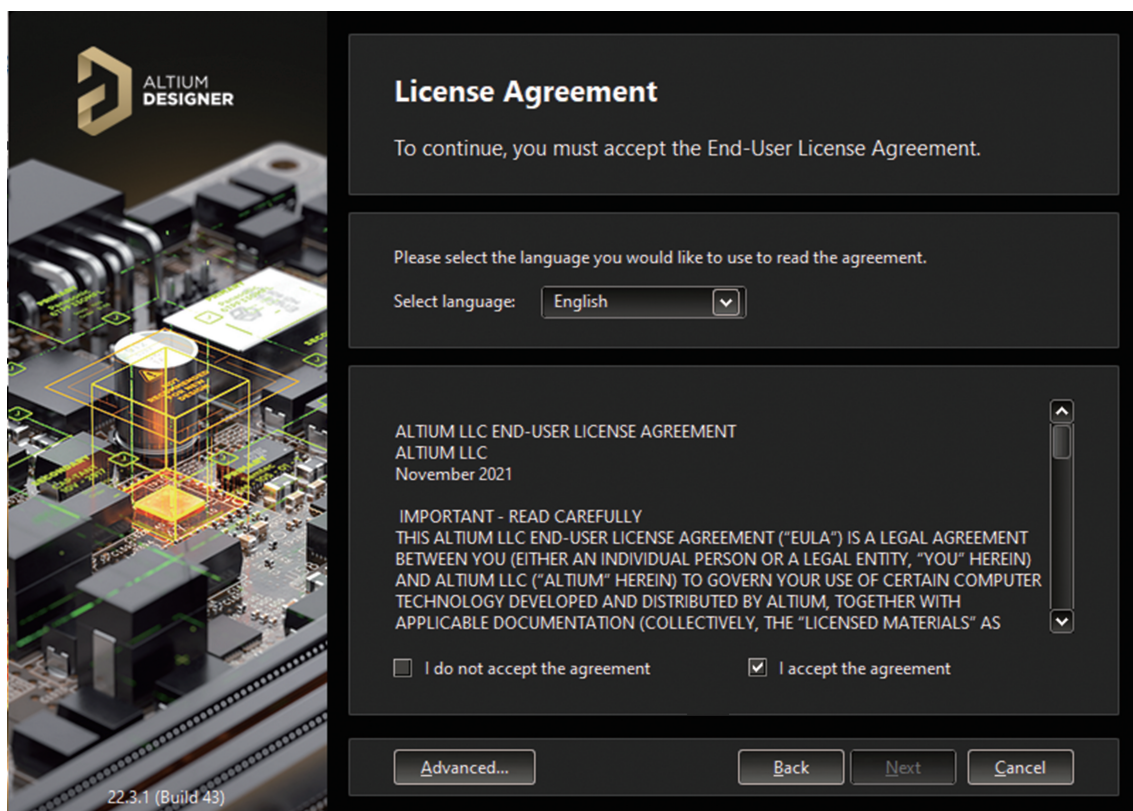


图 1-5 选择语言、接受事项对话框

(4)弹出选择安装组件对话框,如图 1-6 所示,选择要安装的组件,建议选择默认即可,然后单击“Next”按钮。

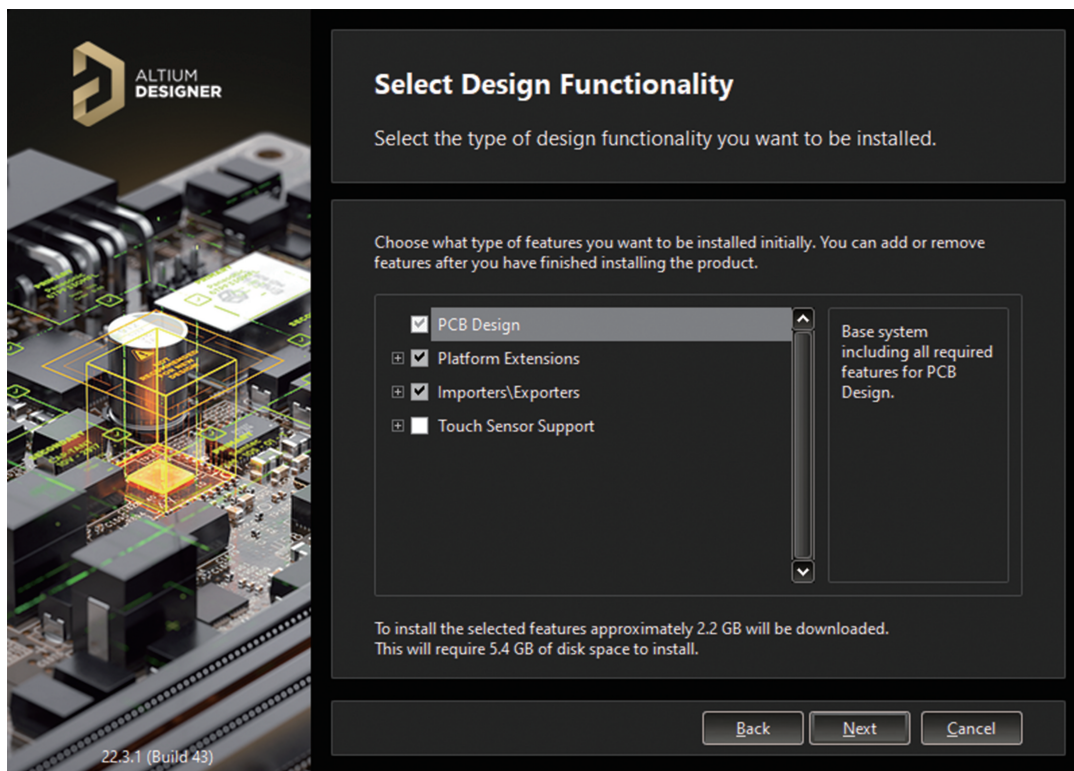


图 1-6 选择安装组件对话框

(5)弹出选择安装路径对话框,如图 1-7 所示,推荐安装在 D 盘。

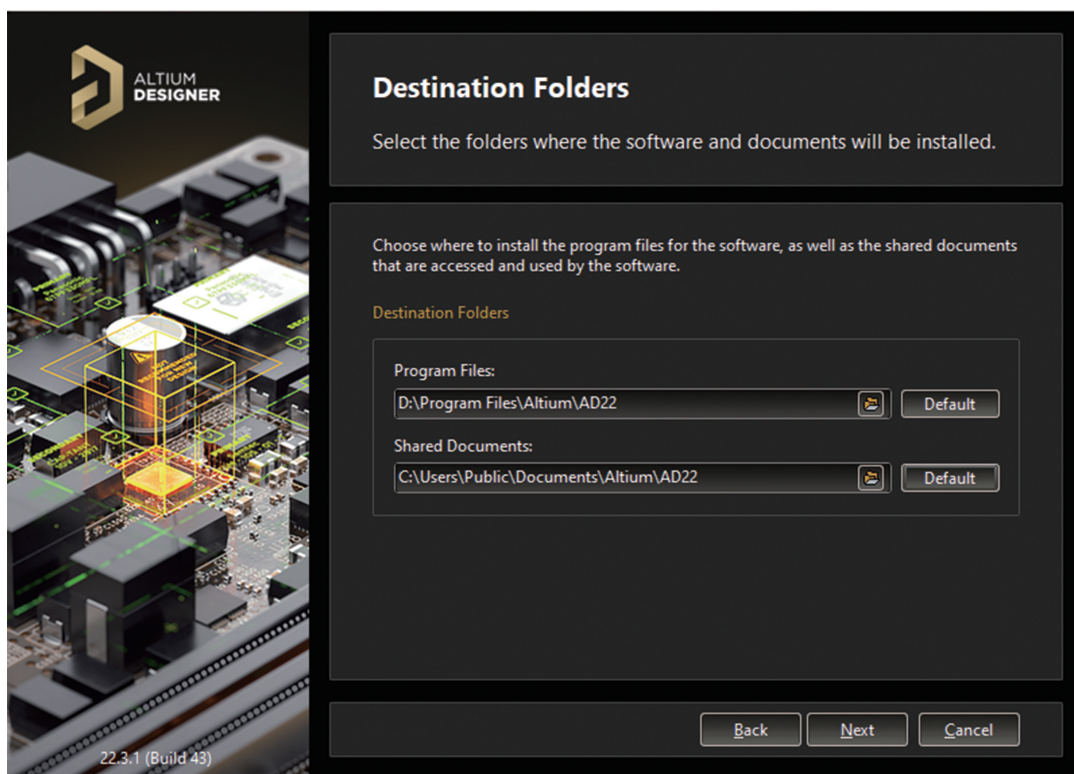


图 1-7 选择安装路径对话框

修改后的效果界面,如图 1-8 所示。

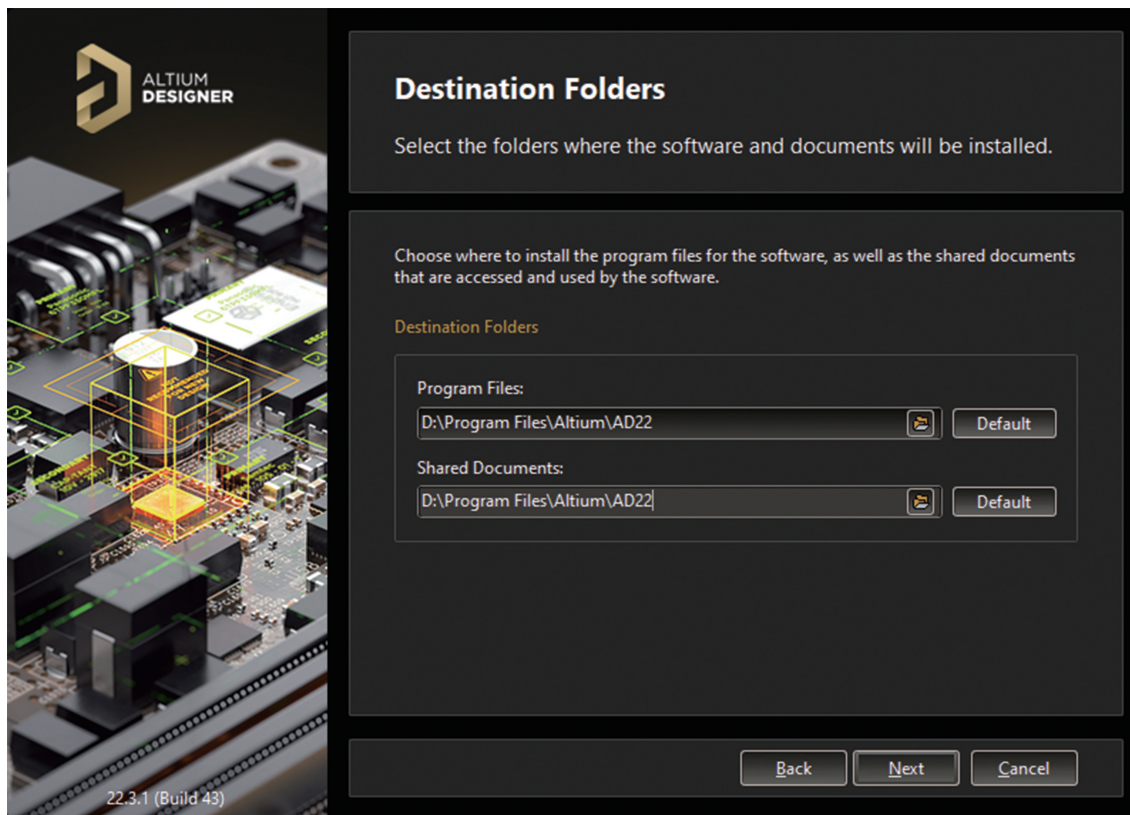


图 1-8 修改安装路径后的效果

建议都安装在一个文件夹里,例如 D:\Program Files\Altium\AD22。

(6)弹出是否参加客户体验改善计划界面,如图 1-9 所示,根据需要进行选择是否参加。

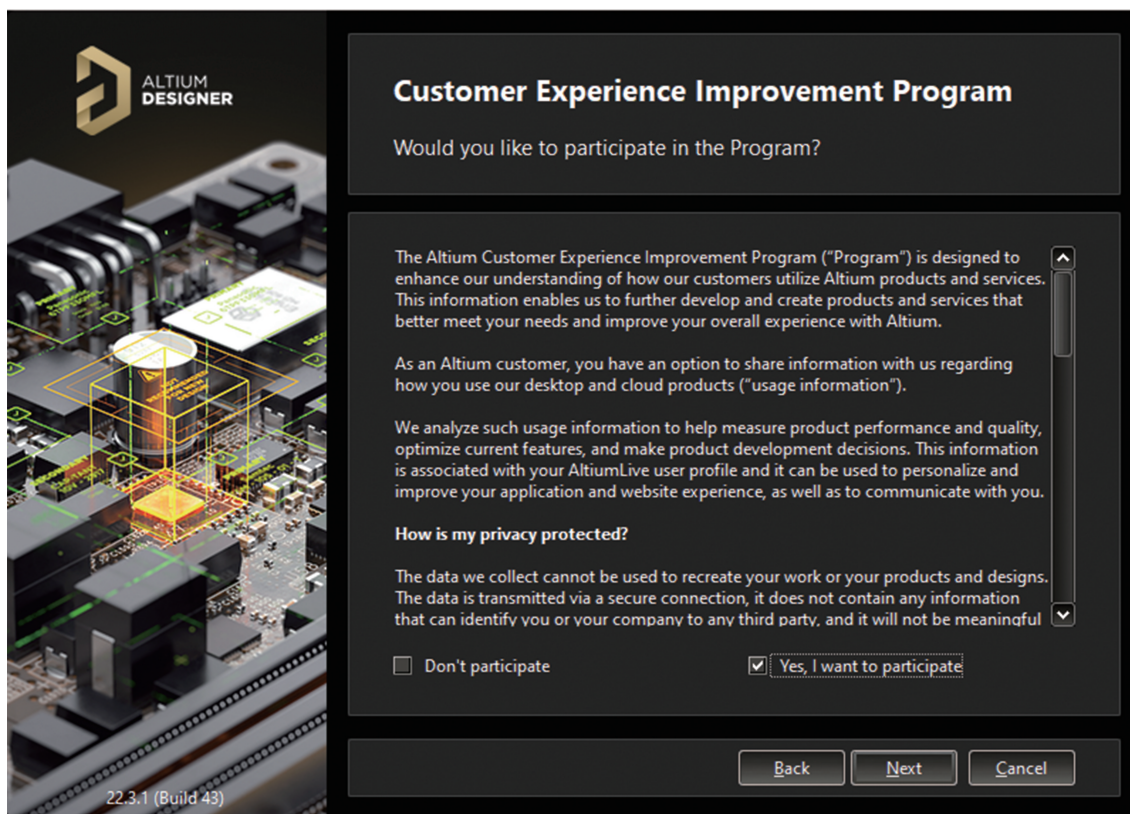


图 1-9 选择是否参加客户体验改善计划界面

(7)弹出准备安装的对话框界面,如图 1-10 所示,保持默认即可,然后单击“Next”按钮。

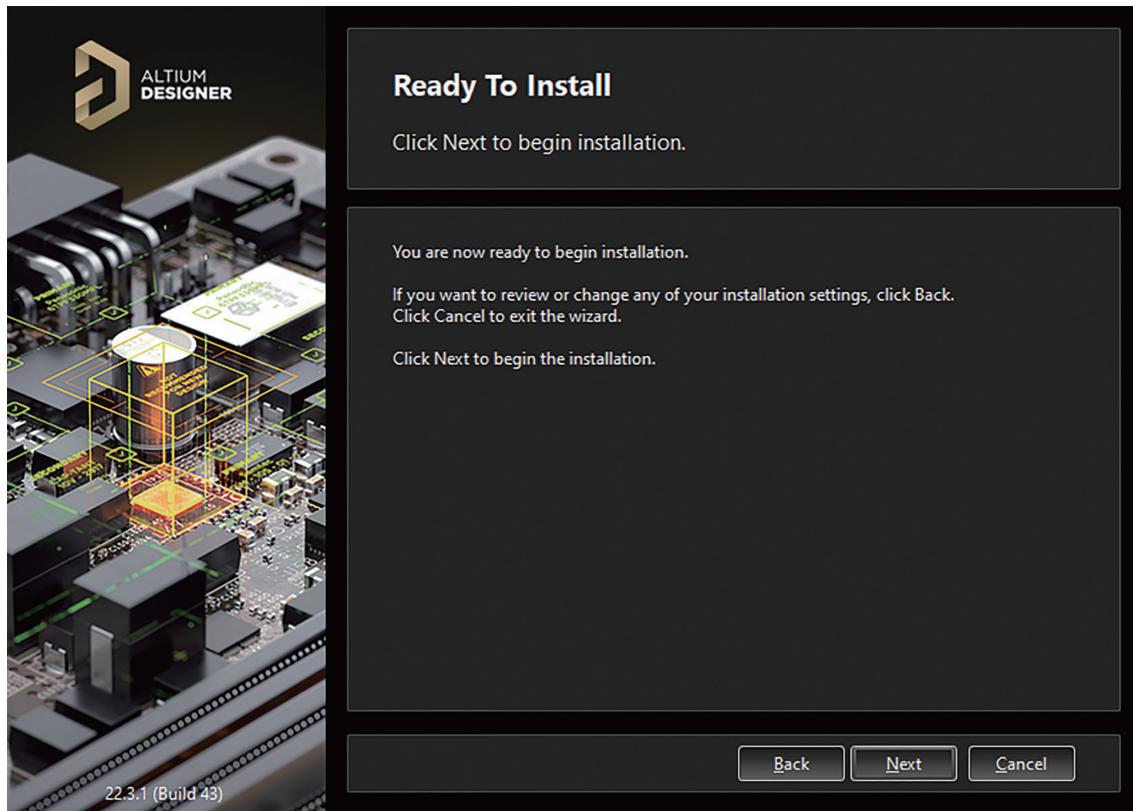


图 1-10 进行安装

正在安装软件界面,如图 1-11 所示。

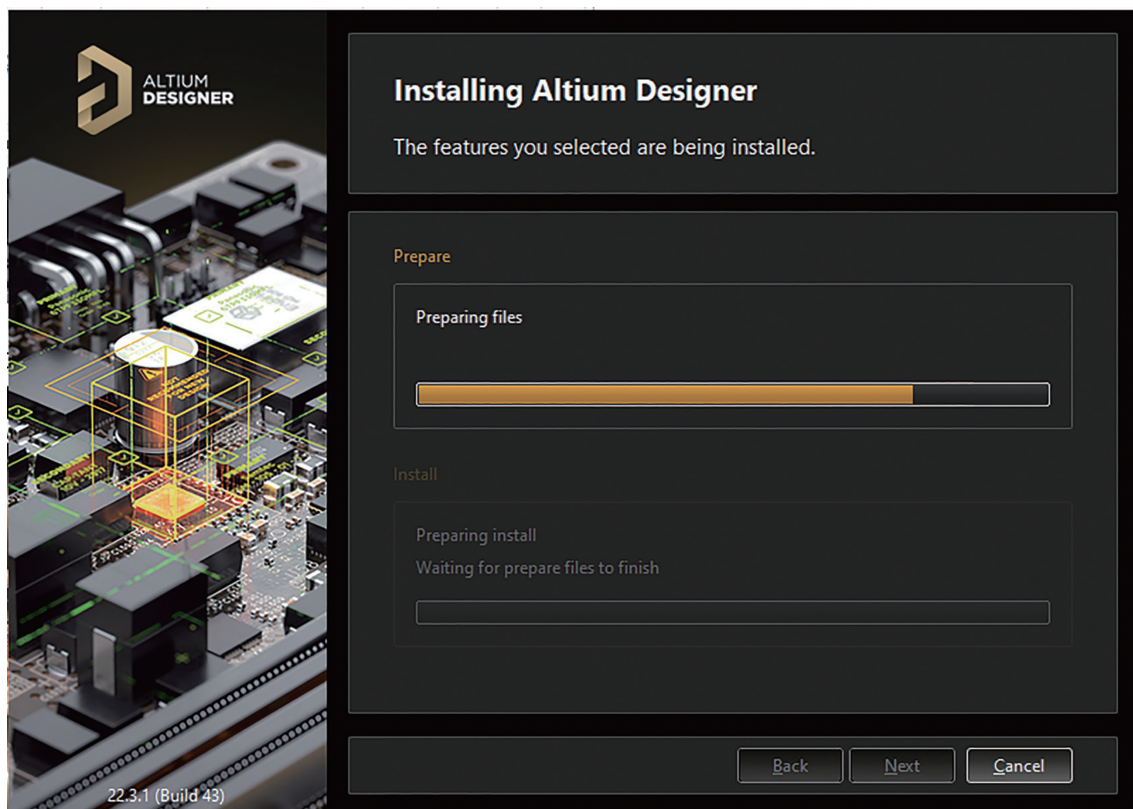


图 1-11 正在安装软件界面

(8) 安装完成后, 界面如图 1-12 所示, 单击“Finish”按钮。

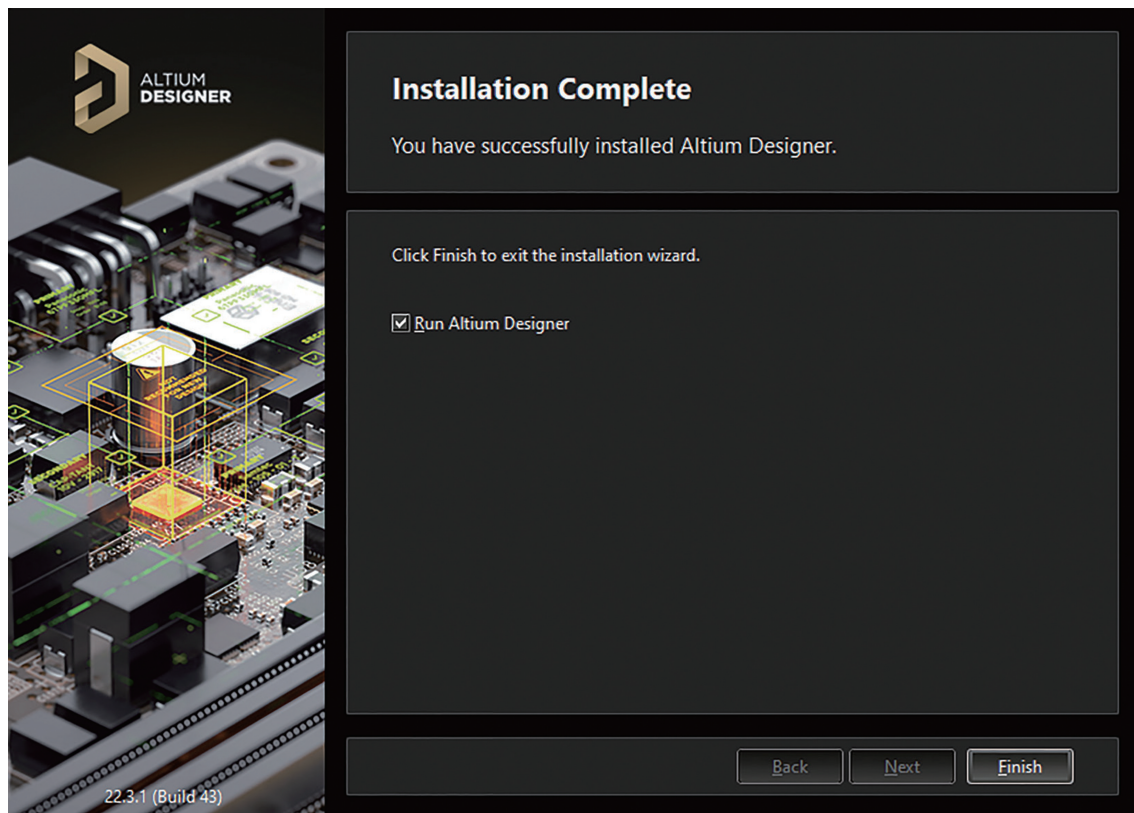


图 1-12 完成安装界面

2. 软件激活

Altium Designer 软件安装完成后, 安装程序自动在开始菜单中放置一个启动软件的快捷方式, 单击“Altium Designer”按钮, 即可启动 Altium Designer 软件。

启动完成后会出现许可管理窗口, 如图 1-13 所示。然后登录 Altium 账号, 用户需要 Altium 账号的登录密码, 如图 1-14 所示。用户可以联络当地 Altium 销售和支持中心或供应商获取登录信息。

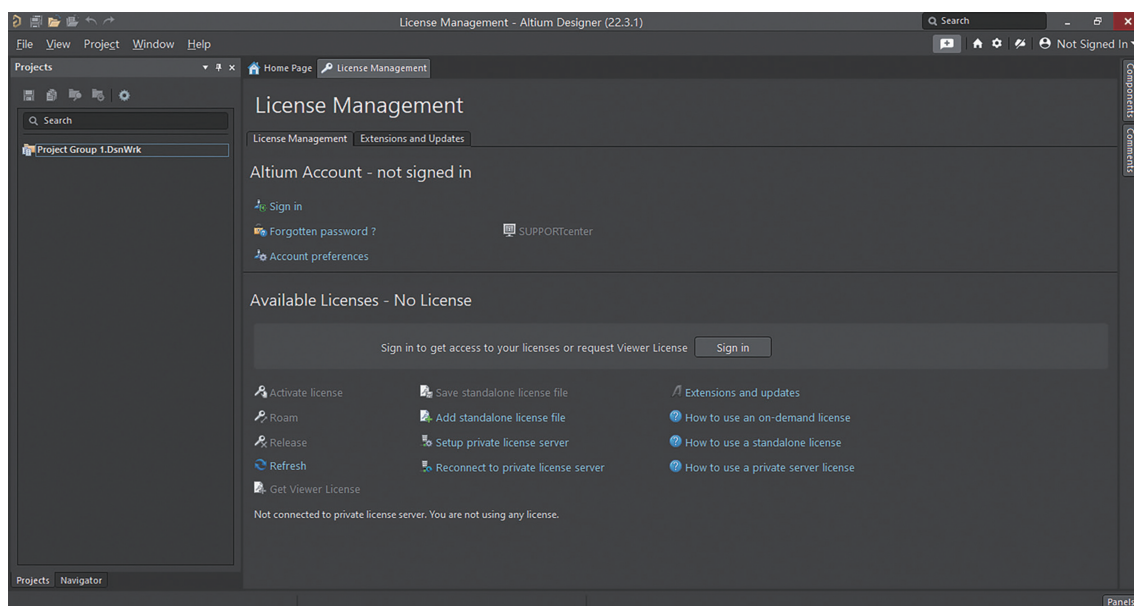


图 1-13 许可管理窗口

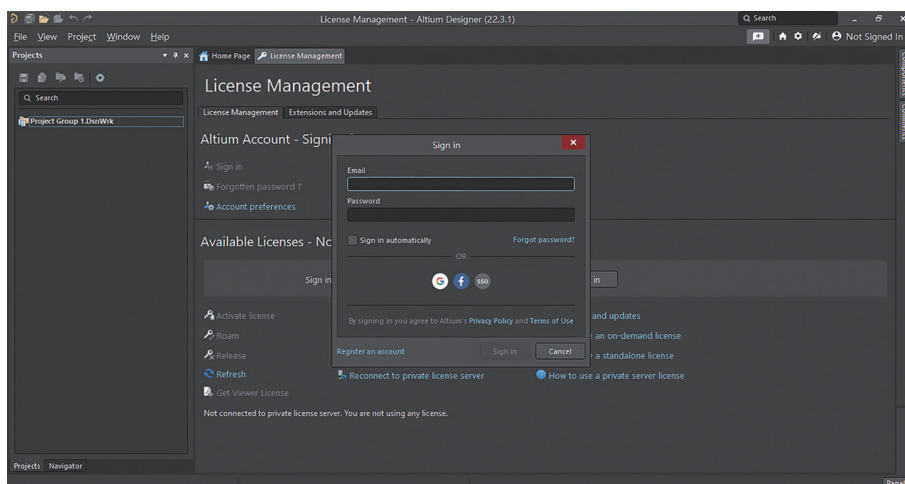


图 1-14 输入账号与密码

登录成功后,用户可以按照需要对软件在线进行激活。软件被激活后,用户就可以使用软件提供的所有功能进行电子产品的设计了。

1.1.5 Altium Designer 的界面

Altium Designer 启动时会显示启动界面,随后进入软件主页面,如图 1-15 所示,用户可以使用该页面进行项目文件的操作,如创建新项目、打开文件、配置等。该系统界面由系统主菜单、浏览器工具栏、系统工具栏、工作区和工作区面板五大部分组成。

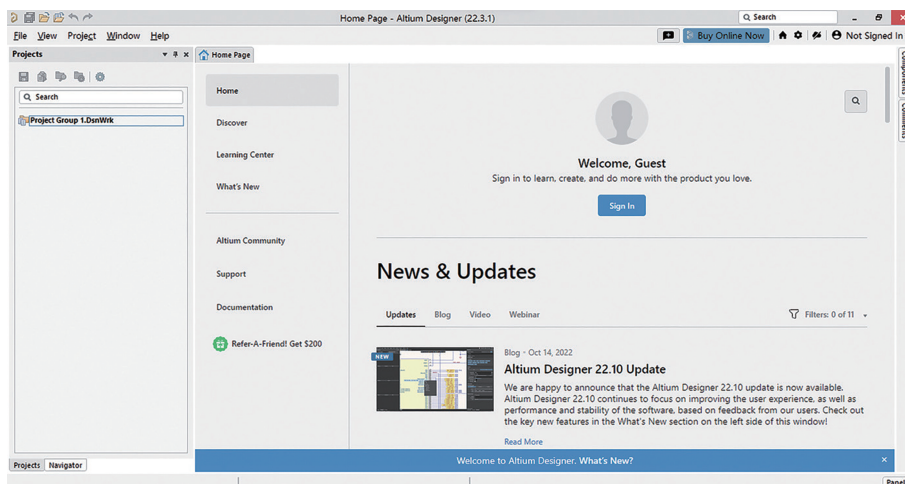


图 1-15 软件主页面

1. 系统主菜单

系统主菜单位于软件界面的上方左侧,具体如图 1-16 所示。启动软件后,系统显示“File(文件)”、“View(视图)”、“Project(项目)”、“Window(窗口)”和“Help(帮助)”等基本操作菜单项,用户使用这些菜单项内的命令选项可以设置 Altium Designer 中的系统参数,新建各类项目文件,启动对应的设计模块。当设计模块被启动后,主菜单将会自动更新以匹配设计模块。

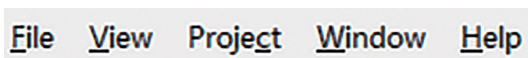


图 1-16 系统主菜单

2. 系统工具栏

系统工具栏位于系统主菜单上方,由快捷工具按钮组成,如图 1-17 所示。单击这些按钮等同于选择相应的菜单命令。



图 1-17 系统工具栏

1.1.6 Altium Designer 的面板

在系统标签中的面板有两种分类：一类是在任何编辑环境中都有的面板，如元器件库文件（Components）面板和项目（Projects）面板；另一类是在特定的编辑环境中才会出现的面板，如 SCH 编辑环境中的“SCH Filter”面板。

1. 面板的访问

软件初次启动后，一些面板已经打开，比如“Projects”控制面板以面板组合的形式出现在应用窗口的左边，“Components”控制面板以弹出的方式和按钮的方式出现在应用窗口的右侧边缘处。另外，在应用窗口的右下端有“Panels”按钮，单击弹出的菜单中显示的各种面板的名称，可以选择访问各种面板，除了直接在应用窗口上选择相应的面板，也可以通过主菜单“View”→“Panels”选择相应的面板。

2. 面板的管理

面板显示模式有三种，分别是：

Docked Mode(停靠模式)，如图 1-18 所示，其中“Projects”面板为纵向停靠模式；

Pop-out Mode(弹出模式)，如图 1-19 所示，其中“Components”面板为弹出模式；

Floating Mode(浮动模式)，如图 1-20 所示，其中“SCH Filter”面板为浮动模式。

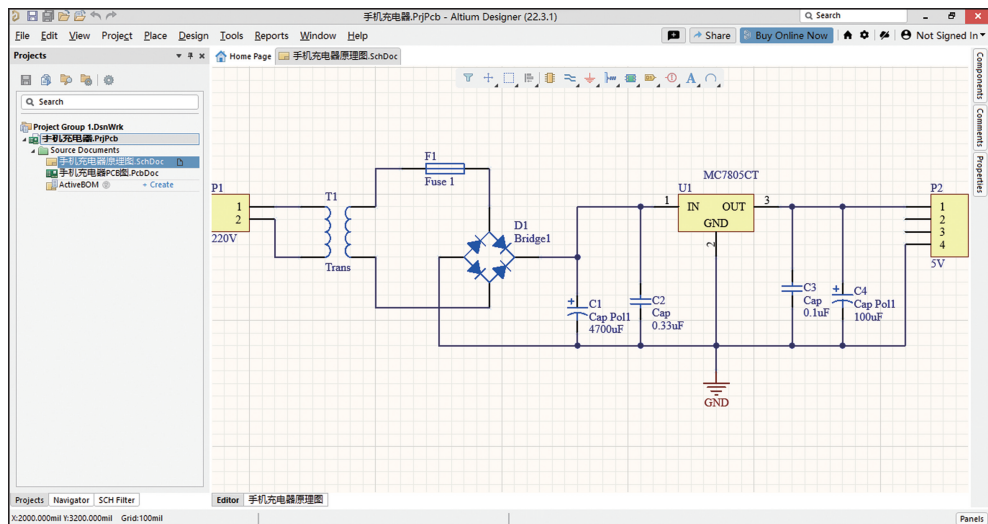


图 1-18 面板停靠模式

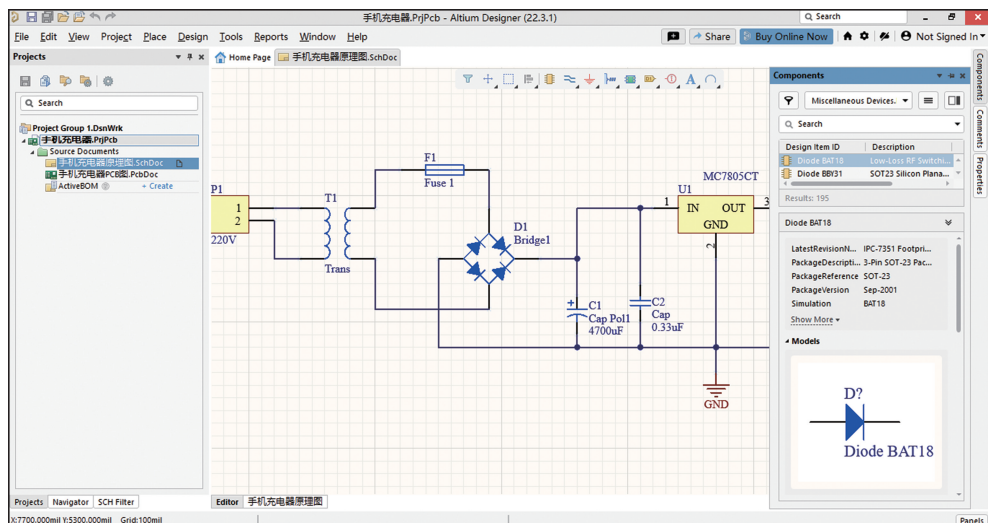


图 1-19 面板弹出模式

