

华东交通大学教材（专著）基金资助项目  
高等学校电气工程及其自动化规划教材


# 电力系统与轨道交通 ETAP仿真技术及实践

DIANLI XITONG YU GUIDAO JIAOTONG  
ETAP FANGZHEN JISHU JI SHIJIAN

主编 左丽霞 韦宝泉



西南交通大学出版社



华东交通大学教材（专著）基金资助项目  
高等学校电气工程及其自动化规划教材

# 电力系统与轨道交通 ETAP 仿真技术及实践

主 编 左丽霞 韦宝泉

副主编 徐祥征 吴文辉 罗 杰

西南交通大学出版社  
· 成都 ·

## 内容简介

本书内容涵盖了电气工程及其自动化专业“电力系统分析”及“电力系统继电保护”ETAP仿真实验课程的各个方面,主要包括电力系统基础建模、潮流计算、短路分析、继电保护配合、电动机起动分析、暂态稳定分析、谐波分析、接地电网设计、eTraX™铁路牵引模块设计。

本书适用于课程仿真实验、课程设计和本科毕业设计,为学生掌握电力系统设计及继电保护原理提供很好的指导作用。本书可以作为高等院校电气工程及其自动化专业以及相关专业的实验教材,也可作为电力系统工程技术人员的参考书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统与轨道交通 ETAP 仿真技术及实践 / 左丽霞, 韦宝泉主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2019.2  
高等学校电气工程及其自动化规划教材  
ISBN 978-7-5643-6761-9

I. ①电… II. ①左… ②韦… III. ①电力系统-系统仿真-高等学校-教材②轨道交通-系统仿真-高等学校-教材 IV. ①TM7②U2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 024634 号

---

高等学校电气工程及其自动化规划教材

电力系统与轨道交通 ETAP 仿真技术及实践

主编

左丽霞  
韦宝泉

责任编辑  
封面设计

黄淑文  
曹天擎

印张: 8.25 字数: 205千

成品尺寸: 185 mm × 260 mm

版次: 2019年2月第1版

印次: 2019年2月第1次

印刷: 四川煤田地质制图印刷厂

书号: ISBN 978-7-5643-6761-9

出版发行: 西南交通大学出版社

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

地址: 四川省成都市二环路北一段111号  
西南交通大学创新大厦21楼

邮政编码: 610031

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

定价: 25.00元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

本教材是基于 ETAP 为电气工程及其自动化专业开设“电力系统分析”及“电力系统继电保护”而编写的实践教程。

ETAP 是功能全面的综合型电力系统分析计算软件,能为发电、输电、配电、微电网以及工业电力电气系统的规划、设计、分析、模拟和实时运行控制提供一套强大的综合解决方案。目前,ETAP 在中国已经和四十余所重点高校建立了 ETAP Power Lab.,为电气工程专业的广大师生提供了良好的实践创新平台。

ETAP 离线仿真分析功能,主要包括潮流分析、短路计算、电动机加速分析、谐波分析、保护设备配合和动作序列、暂态稳定、弧闪分析、接地网系统、电缆载流量和尺寸、变压器容量估计和分接头优化、可靠性评估、优化潮流、补偿电容器最佳位置、不平衡潮流、风力发电机、光伏太阳能等功能模块。ETAP eTraX™ 铁路牵引电力软件包括精确的、用户友好并灵活的软件工具来分析和管理中、低压铁路,它以先进的地理空间信息为基础,拥有建模、模拟、预测和优化铁路基础设施的功能,能为铁路所有者、经营者和工程顾问提供牵引供电系统设计和综合管理。

全书共分为 10 个章节,主要针对电力系统分析设计中应用比较广泛的潮流、短路、暂态以及继电保护配合进行仿真分析指导,其特点是内容丰富,结构紧凑,语言简练,图文并茂,工程实用性强。学生通过对 ETAP 建模、参数录入、配置设计、系统运行、告警纠正、结果分析和案例分析,可以更加直观、准确和全面地学习电力系统理论知识和实际运用技能。本书适用于课程仿真实验、课程设计和本科毕业设计,为学生掌握电力系统设计及继电保护原理提供很好的指导作用。

本书的编者均来自教学一线,具有丰富的教学经验,同时特别感谢 ETAP 中国公司提供的技术支持。由于编者水平有限,书中难免存在疏漏与不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2018 年 11 月 5 日

# 目 录

第一章 电力系统基础建模 .....	1
第一节 建立工程 .....	1
第二节 建立单线图 .....	4
第三节 输入元件参数 .....	7
第二章 电力系统潮流分析 .....	14
第一节 潮流分析仿真模块 .....	14
第二节 潮流分析中变压器 LTC 的应用 .....	21
第三节 变压器容量估计 .....	23
第四节 电缆尺寸选择 .....	24
第五节 不同负荷类型与发电类型用于潮流计算 .....	26
第三章 电力系统短路分析 .....	28
第一节 短路分析仿真模块 .....	28
第二节 断路器的选择和电缆热稳定校验 .....	30
第三节 不对称故障分析 .....	33
第四节 暂态短路电流计算 (IEC61363) .....	35
第四章 继电保护配合 .....	37
第一节 添加保护配合需要的数据 .....	37
第二节 保护配合案例分析 .....	42
第五章 电动机起动分析 .....	44
第一节 静态电机起动分析 .....	44
第二节 动态加速分析 .....	48
第三节 电动机成批动态起动分析 .....	53
第六章 暂态稳定分析 .....	54
第一节 增添暂态稳定分析需要的数据 .....	54
第二节 暂态分析案例 .....	56

第七章 谐波分析 .....	64
第一节 添加谐波电流源数据 .....	64
第二节 对系统进行谐波分析 .....	65
第三节 滤波器设计 .....	67
第八章 接地网系统 .....	72
第一节 接地网系统的设计 .....	72
第二节 接地网系统的优化 .....	77
第三节 IEEE 方法接地网工程计算案例 .....	79
第四节 有限元法接地网工程计算 .....	83
第九章 ETAP eTraX™ 铁路牵引电力模块 .....	88
第一节 eTraX™ 模块的功能分层 .....	89
第二节 eTraX™ 案例分析 .....	93
第十章 仿真实验 .....	116
实验一 电力系统基础建模 .....	116
实验二 潮流分析 .....	118
实验三 变压器 LTC 应用和容量估计以及电缆尺寸选择 .....	119
实验四 不同负荷类型与发电类型用于潮流计算 .....	121
实验五 IEC60909 三相对称短路计算分析 .....	122
实验六 断路器开关能力和电缆的短路校验应用 .....	123
实验七 IEC60909 不对称短路计算分析 .....	124
参考文献 .....	125

# 第一章 电力系统基础建模

在 ETAP 软件中，都是以工程来管理工作的，想要实现潮流分析、短路分析、继电保护配合、电机启动分析、暂态稳定分析、谐波分析等工作，必须以单线图为基础。本章将详细介绍如何建立工程和单线图的基本内容，以及如何录入元件参数。

## 第一节 建立工程

### 1. 打开软件

单击桌面上的“中文 ETAP 12.6.0”图标，打开 ETAP 12.6.0 中文版软件，进入如图 1-1 所示的界面。

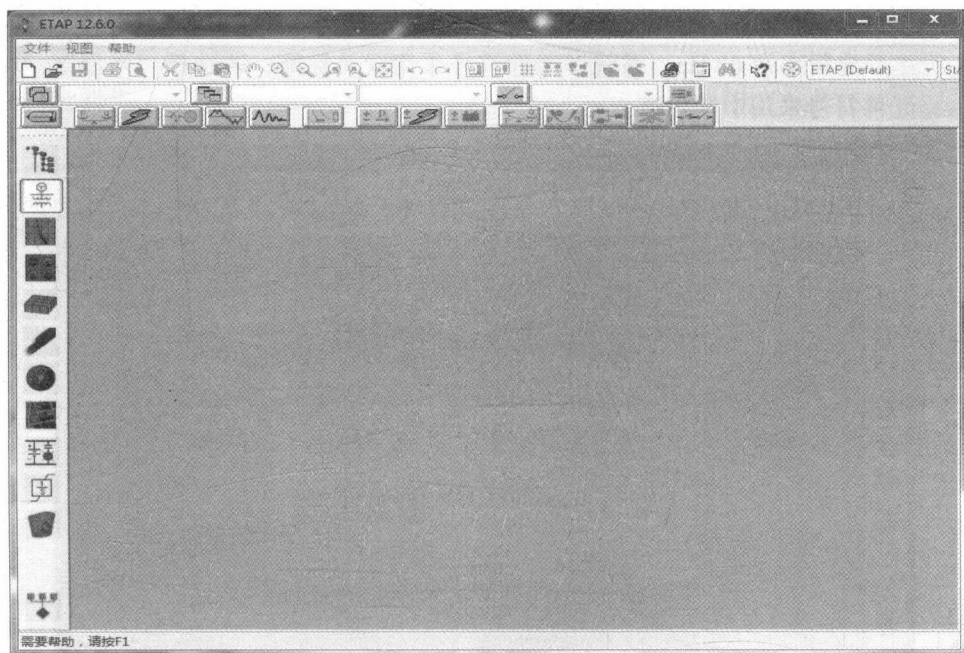


图 1-1 ETAP 界面

### 2. 新建工程

点击“文件”菜单，出现如图 1-2 所示的下拉菜单，点击“新建工程”。

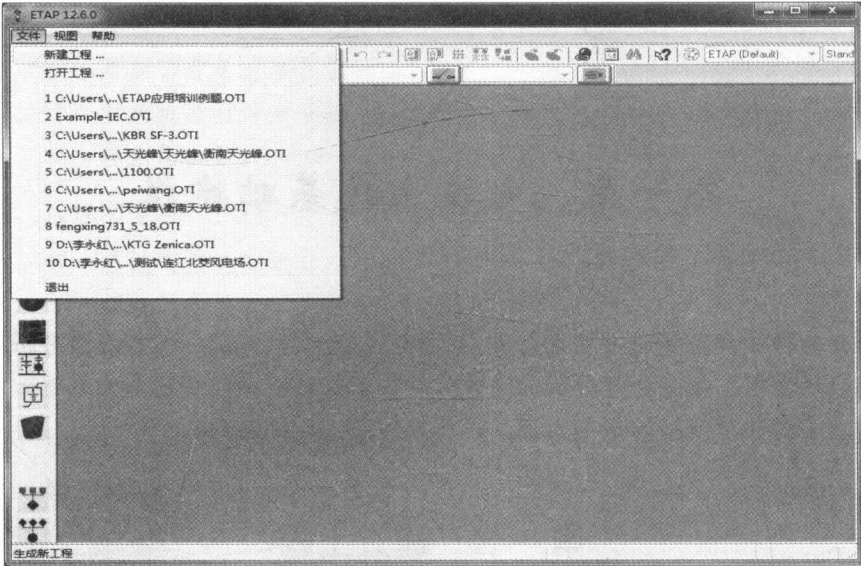


图 1-2 新建工程界面

### 3. 输入文件名

在如图 1-3 所示的界面中，输入本章案例的新建工程文件名“培训例题 1”，选择“米制”，并选择文件保存的路径，这里还可以设置数据库或者工程管理的密码，最后点击“确定”，进入 ETAP 软件的编辑模式。ETAP 软件中单位系统有“英制”和“米制”两种，若选择“英制”，则所建系统频率为 60 Hz，系统中元件符号采用欧美标准；若选择“米制”，系统频率为 50 Hz，元件符号采用中国标准。

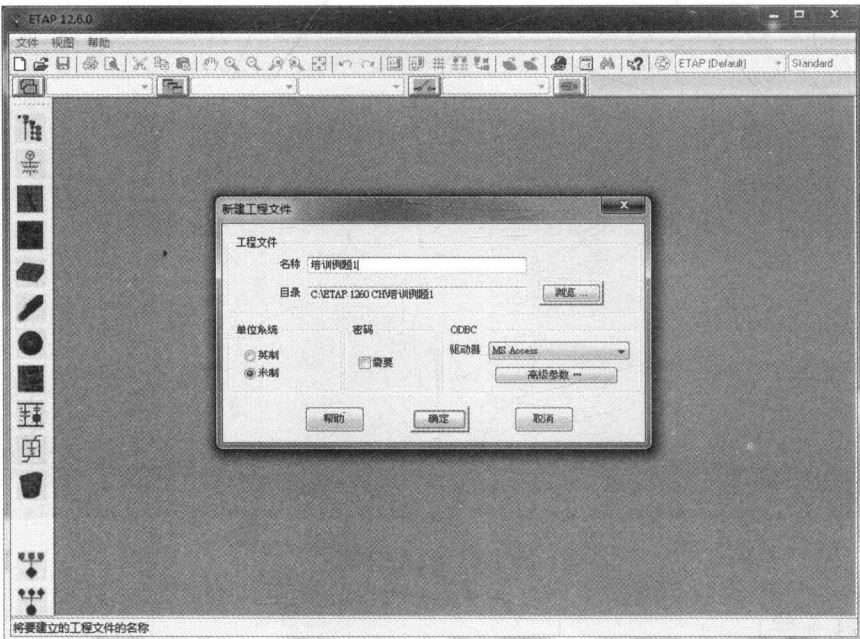


图 1-3 输入工程文件名的界面



#### 4. 打开 ETAP 软件的编辑模式

ETAP 软件的编辑界面如图 1-4 所示，图中自上而下依次为标题栏、菜单栏、工具栏、ETAP 软件模块栏，其中 ETAP 软件模块栏包括“编辑”模块、“潮流分析”模块、“短路分析”模块、“保护设备配合”模块、“暂态稳定性分析”模块、“电机启动分析”模块、“谐波分析”模块等。界面的右侧为电力及电气系统元件栏，包括交流元件、直流元件和仪表及继电器栏；左侧是系统工具栏和项目管理器，其中项目管理器包括“工程视图”“单线图”“回收站”等。

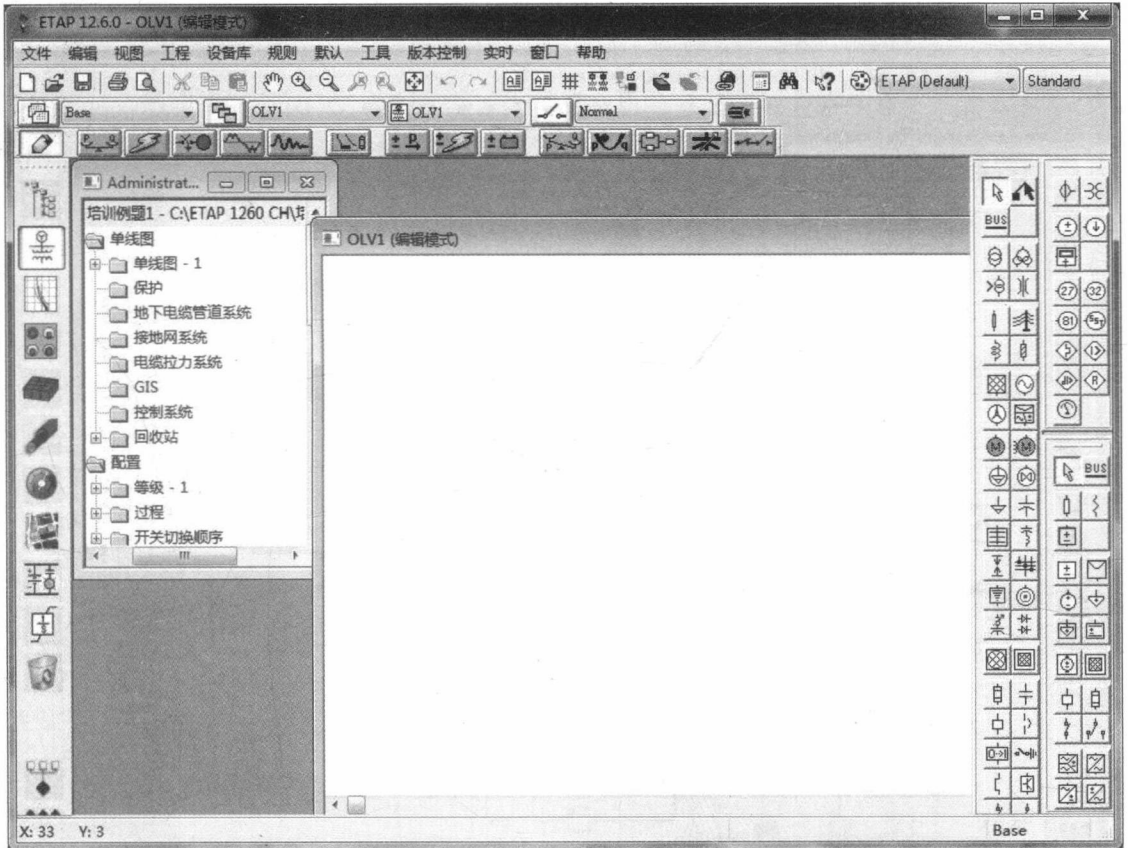


图 1-4 ETAP 软件的编辑模式

## 第二节 建立单线图

### 1. 添加系统元件

在编辑界面右侧的元件库中找到需要的元件，单击鼠标左键，拖曳到编辑界面中，如图 1-5 所示是本章案例的元件，有等效电网、变压器、传输线、电缆、等效负荷、母线等。

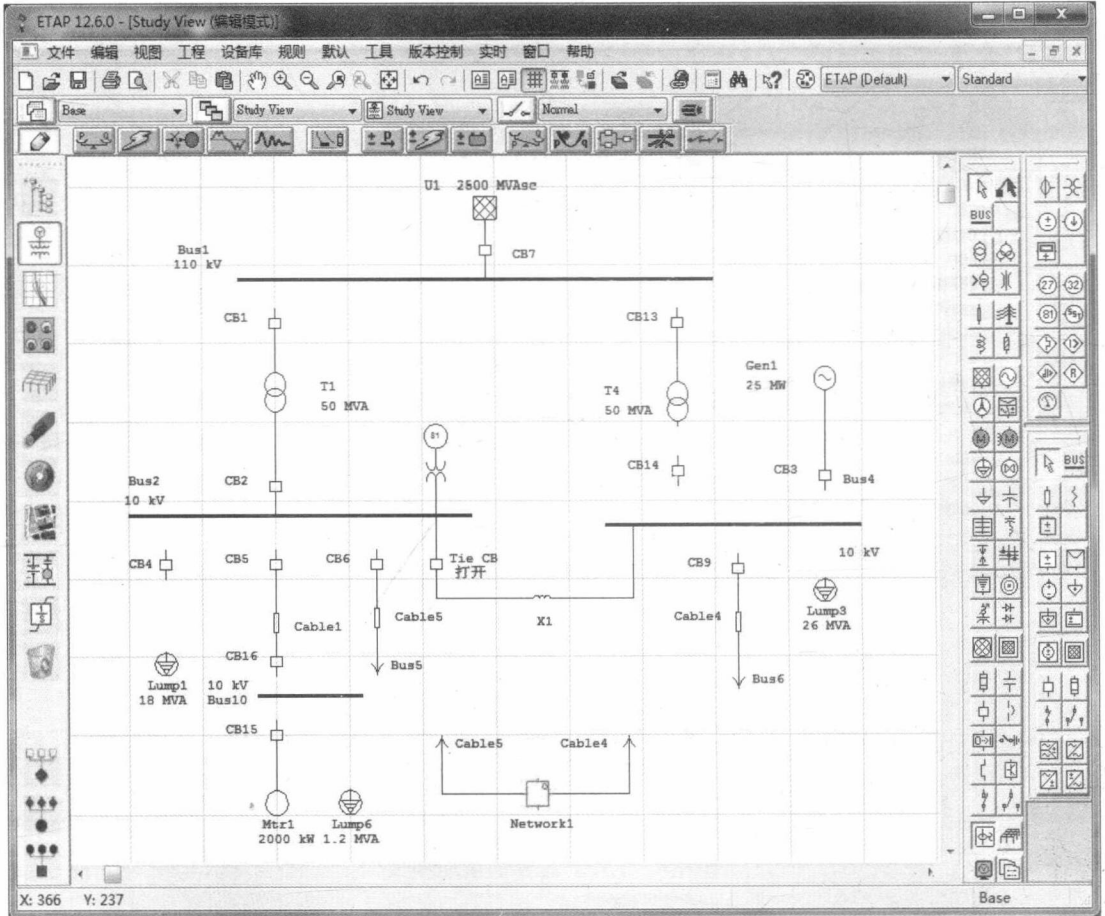


图 1-5 在单线图上添加电力系统元件

### 2. 元件连线

将鼠标移到元件接线端子上，当端子呈红色时，点击左键并按住左键拖曳到另一个元件的接线端子，呈现红色表示可以连线。将各元件依次连线，建立的单线图如图 1-6 所示。

按住 Ctrl 键滚动鼠标滚轮，可以放大或缩小系统单线图，放大的系统单线图如图 1-7 所示。

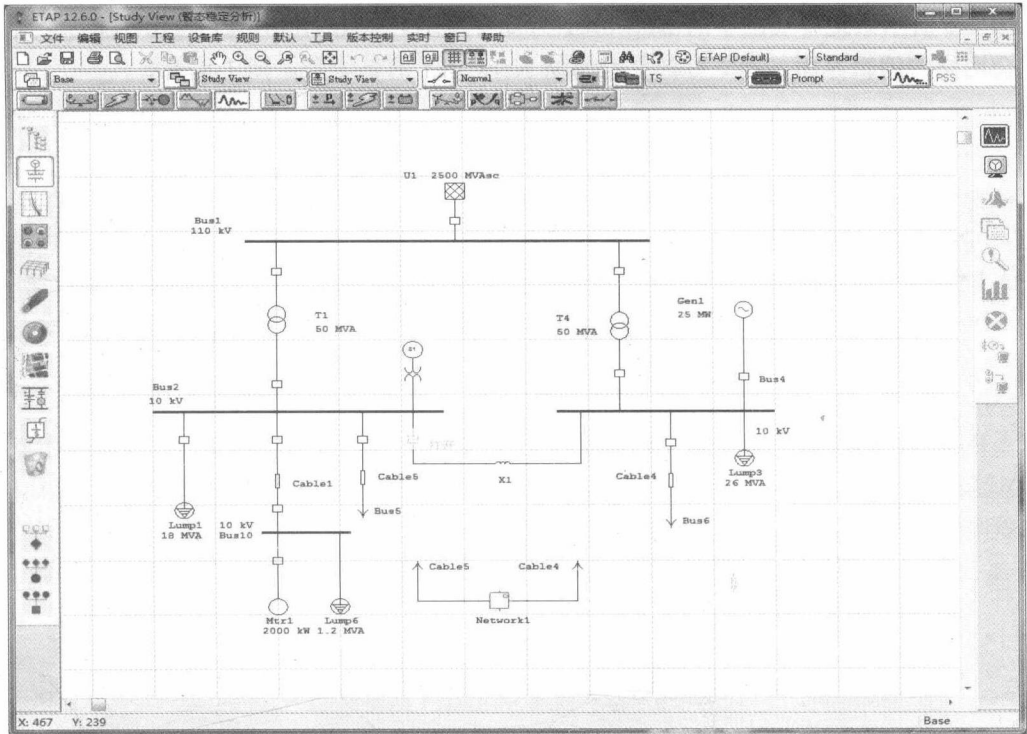


图 1-6 建立的系统单线图

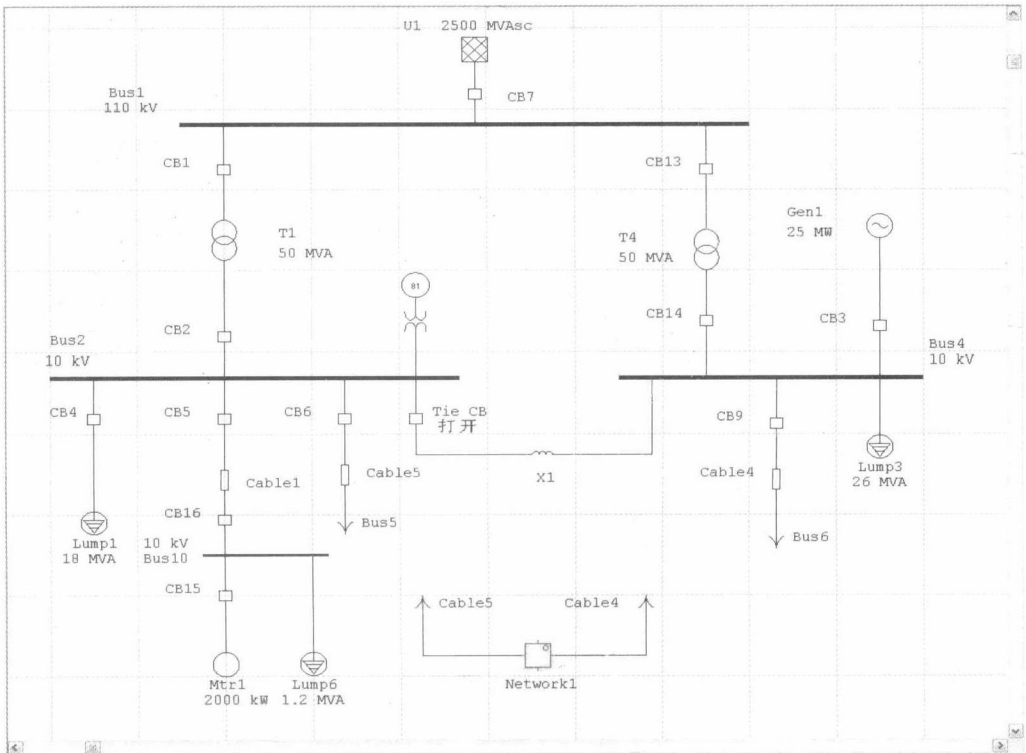


图 1-7 放大的系统单线图

图 1-6 所示系统单线图中的 Network1 为复合网络，双击 Network1 的元件图标，即可进入复合网络的编辑界面。建立好的复合网络 Network1 的单线图如图 1-8 所示。

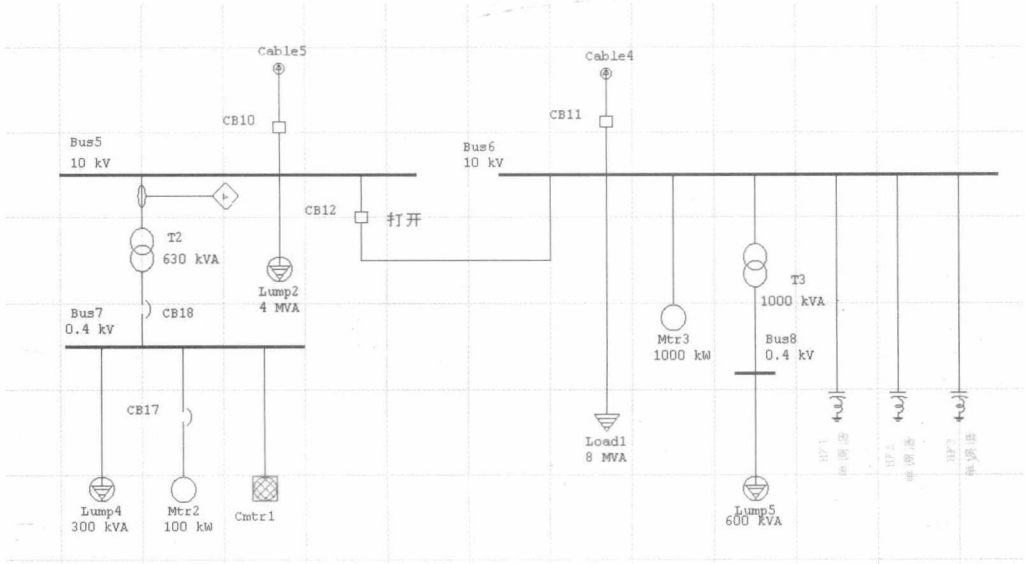


图 1-8 复合网络 Network1 的单线图

### 第三节 输入元件参数

针对不同的分析计算，所需要录入的参数不同，用户只需输入满足特定仿真分析所需要的参数即可。双击单线图的元件图标，打开元件编辑器，即可录入元件的相关参数。同时，ETAP 软件还另外提供了一些快速录入数据的便捷方式，如采用元件数据库，快速录入元件参数；非独立参数可选择不同录入参数，ETAP 可自动转换为系统内部参数。

#### 1. 等效电网参数输入

双击元件“等效电网 U1”图标，打开等效电网编辑器，编辑器有多个属性页，每个属性页都有相应的参数需要输入，不同的属性页之间可以相互切换。在等效电网 U1 编辑器的“额定值”属性页，输入额定电压 110 kV；在编辑器的“短路”属性页，输入本章案例中等效电网 U1 的相应参数：输入三相短路容量 2 500 MV·A，单相短路容量 2 000 MV·A，X/R 皆取 30，如图 1-9 所示。



图 1-9 等效电网 U1 编辑器“短路”属性页

#### 2. 变压器参数输入

双击“变压器 T1”图标，打开变压器编辑器，分别在“额定值”属性页和“接地”属性页输入本章案例中变压器 T1 的相应参数，如图 1-10 和 1-11 所示。以同样的方式录入变压器 T2、T3 的参数值，具体参数值见表 1-1。

表 1-1 变压器元件参数表

变压器名称	额定电压 (kV)	额定容量 (MV·A)	分接头 Tap	接地	%Z	X/R
T1	110/10.5	50	0/0	Y0/Δ	10.5	取典型值
T2	10/0.4	0.63	0/0	Δ/Y0	取典型值	取典型值
T3	10/0.4	1	0/0	Δ/Y0	取典型值	取典型值
T4	110/10.5	50	0/0	Y0/Δ	10.5	取典型值



图 1-10 双绕组变压器 T1 编辑器的“额定值”属性页

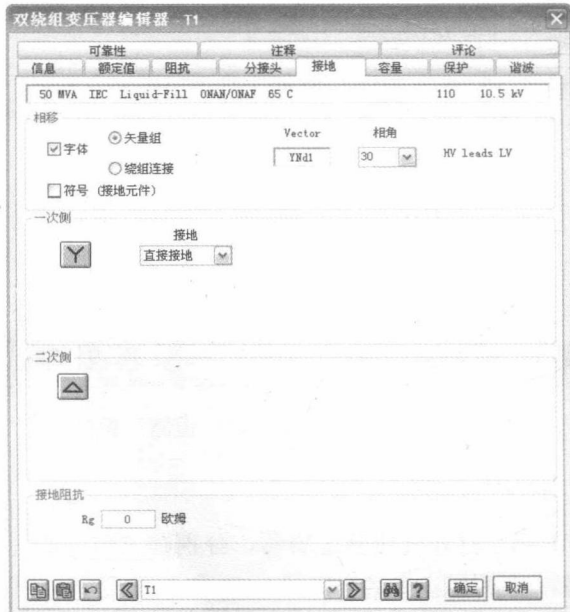


图 1-11 双绕组变压器 T1 编辑器的“接地”属性页

### 3. 等效负荷参数输入

双击元件“等效负荷 Lump1”图标，打开等效负荷编辑器，“铭牌”属性页如图 1-12 所示。输入本章案例中等效负荷 Lump1 的相应参数：额定电压 10 kV，额定容量 18 MV·A，功率因数 (PF) = 95%。随后 ETAP 自动生成：17.1 MW、5.62 Mvar、1039 A。负荷模型选定：恒容量 kVA = 100%，ETAP 自动生成恒阻抗 = 0%。负荷类型输入：Design = 100%、Normal = 90%。



图 1-12 等效负荷 Load1 编辑器的“铭牌”属性页

以同样的方式录入其他等效负荷的参数，具体参数值见表 1-2。

表 1-2 等效负荷元件参数表

等效负荷名称	额定容量 (MV·A)	%PF	负荷类型	
			Design	Normal
Lump1	18	95	100%	90%
Lump2	4	90	100%	100%
Lump3	26	95	100%	100%
Lump4	0.3	90	100%	100%
Lump5	0.6	90	100%	100%
Lump6	1.2	90	100%	100%

### 4. 静态负荷参数输入

双击元件“静态负荷 Load1”图标，打开静态负荷编辑器，“负荷”属性页如图 1-13 所

示。输入本章案例中静态负荷 Load1 的相应参数：额定电压 10 kV，额定容量 = 8 MV · A；功率因数 (PF) = 85%。ETAP 自动生成 6.8 MW、4.214 Mvar、461.9 A 等数据；负荷类型：Design = 100%、Normal = 80%。

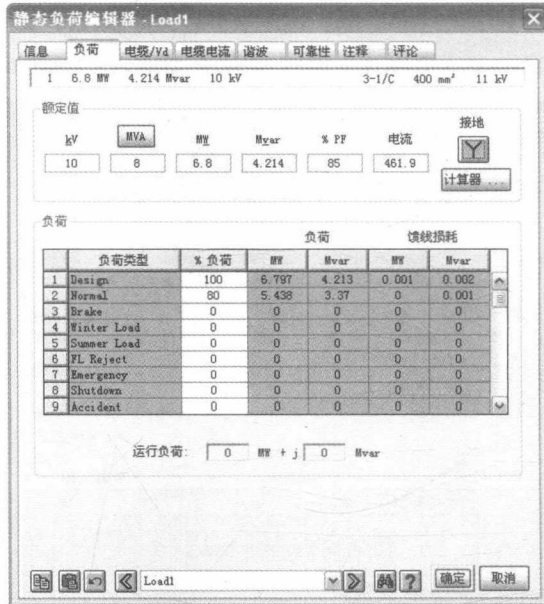


图 1-13 静态负荷编辑器的“负荷”属性页

### 5. 电动机参数输入

双击元件“电动机 Mtr1”图标，打开感应电机编辑器，“铭牌”属性页如图 1-14 所示。输入本章案例中电动机 Mtr1 的相应参数：额定功率 2000 kW、额定电压 10 kV；ETAP 自动生成视在功率，满载电流，100%、75%、50% 负载下的功率因数及效率、滑差、转速。



图 1-14 感应电动机 Mtr1 编辑器的“铭牌”属性页



以同样的方式录入其他 5 台电动机的参数，系统所有电动机的主要参数如表 1-3 所示，其中电动机 Mtr4、Mtr5、Mtr6 共同组成复合电机 Cmtr1。

表 1-3 系统所有电动机的主要参数

电动机名称	额定功率 (kW)	额定电压 (kV)	负荷类型	
			Design	Normal
Mtr1	2000	10	100%	90%
Mtr2	100	0.38	100%	90%
Mtr3	1000	10	100%	90%
Mtr4	50	0.38	100%	90%
Mtr5	75	0.38	100%	90%
Mtr6	25	0.38	100%	90%

## 6. 发电机参数输入

双击元件“发电机 Gen1”图标，打开感应电机编辑器，在“信息”属性页中，选择控制方式为无功控制 (Mvar Control)。在如图 1-15 所示的“铭牌”属性页输入本章案例中发电机 Gen1 的相应参数：额定有功功率 25 MW，额定电压 10.5 kV，功率因数 80%；发电类型 Design，有功功率 = 25 MW，无功功率 = 15.5 Mvar， $Q_{\max} = 18.75$  Mvar， $Q_{\min} = -8$  Mvar；发电类型 Normal，有功功率 = 20 MW，无功功率 = 12.4 Mvar， $Q_{\max} = 15$  Mvar， $Q_{\min} = -6.5$  Mvar。

同步发电机编辑器 - Gen1

调速器 PSS 谐波 保护 可靠性 燃料成本 注释 评论

信息 额定值 容量 阻抗/模型 接地 惯量 励磁器

10.5 kV 25 MW Mvar Control

额定值

MW 25 kV 10.5 % PF 80 MVA 31.25 % Eff. 95 极 2

% 母线标称电压 105 FLA 1718 RPM 3000

Gen. 种类	% V	角度	MW	Mvar	% PF	最大无功	最小无功
1 Design			25	15.5	84.99	18.75	-8
2 Normal			20	12.4	84.99	15	-6.5
3 Shutdown			0	0	85	24.967	0
4 Emergency			0	0	85	24.967	0
5 Standby			0	0	85	24.967	0
6 Startup			0	0	85	24.967	0

原动机额定值 连续 HP 33526 MW 25 峰值 HP 33526 MW 25

无功限制  容量曲线  用户定义 Peak Mvar 20

运行值 % V 105.305 电压相角 -1.1 MW 25 Mvar 15.5

Gen1 确定 取消

图 1-15 同步发电机编辑器的“额定值”属性页