参考资料 I

ETAP 电力及电气系统综合分析计算软件
应用培训例题使用手册

欧特艾远东（南京）计算机技术有限公司

2008 年 07

本文件是高度机密的，为 OTI FAR-EAST 公司所有。没有得到 OTI FAR-EAST 公司的书面许可，本文件内容不能被翻印、复制、传播，或者泄漏给其他任何人。版权所有©2008 OTI FAR-EAST。

目 录

第一章 系统建模 1
第一节 建立工程 1
第二节 建立单线图 3
第三节 输入元件参数 5
第二章 潮流分析 12
第一节 潮流分析 12
第二节 潮流分析中变压器 LTC 的应用 18
第三节 变压器容量估计 19
第四节 电缆尺寸选择 20
第五节 不同负荷类型与发电类型用于潮流计算 22
第三章 短路分析 25
第一节 增添短路分析需要的数据 25
第二节 设定故障位置与设置短路分析参数 25
第三节 三相短路计算 26
第四节 断路器的选择和电缆热稳定校验 26
第五节 不对称故障分析 28
第六节 暂态短路电流计算（IEC363） 30
第七节 不同的数据版本用于设置系统短路计算的最大与最小运行方式 32
第四章 电机起动分析 34
第一节 静态电机起动分析 34
第二节 动态起动分析 38
第五章 暂态稳定分析 43
第一节 增添暂态稳定分析需要的数据 43
第二节 暂态分析案例 44
第六章 继电保护配合 52

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致,下载高清无水印

第一节 添加保护配合需要的数据 52

第二节 案例分析 57

第七章 谐波分析 60

第一节 给静态负荷 LOAD1 添加谐波电流源数据 60

第二节 在设置谐波源后，对系统进行谐波分析 60

第三节 滤波器设计 61

第四节 在投入滤波器之后的谐波分析 65

第五节 频率扫描 66

第八章 接地网系统 67

第一节 接地网系统的设计 67

第二节 接地网系统的优化 71

第三节 IEEE 方法接地网工程计算 73

第四节 有限元法接地网工程计算 77

结束语 82

第一章 系统建模

ETAP 软件中，是以工程来管理工作的。同时，在 ETAP 软件中，想要实现潮流分析、短路分析、继电保护配合、暂态稳定分析、电机起动分析、谐波分析、可靠性评估、优化潮流等工作，都是以单线图为基础的。本章介绍如何建立工程和单线图的基本内容，以及元件参数如何录入的问题。

第一节 建立工程

1、单击桌面上的“中文 ETAP5.5.5”图标，打开 ETAP5.5.5 中文版软件，如图 1-1 所示。

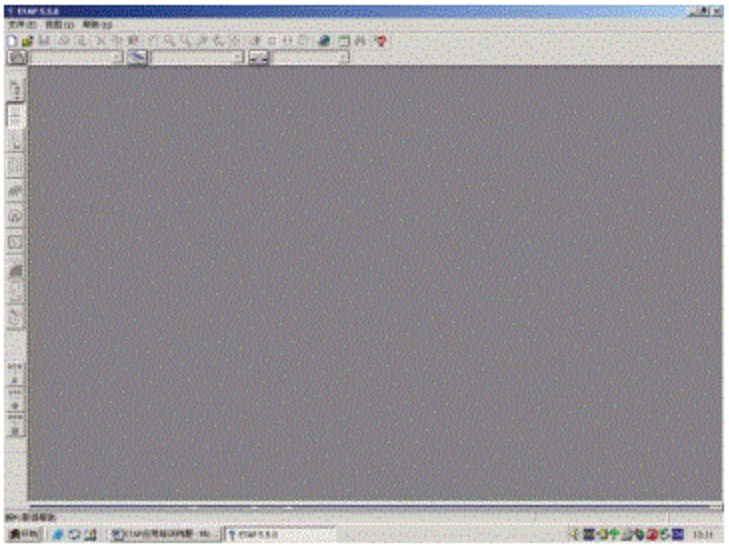


图 1-1 ETAP 5.5.5 界面

2、打开“文件”下拉菜单，点击“新建工程”，如图 1-2 所示。

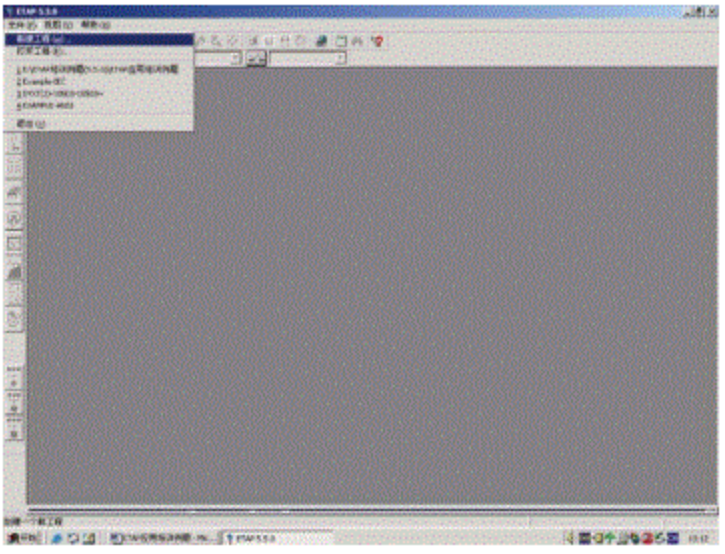


图 1-2 ETAP5.5.5—新建工程界面

3、输入文件名，如：“培训例题 1”，选择“米制”，选择文件保存的路径。（这里也可以设置数据库或者工程管理的密码），如图 1-3 所示。

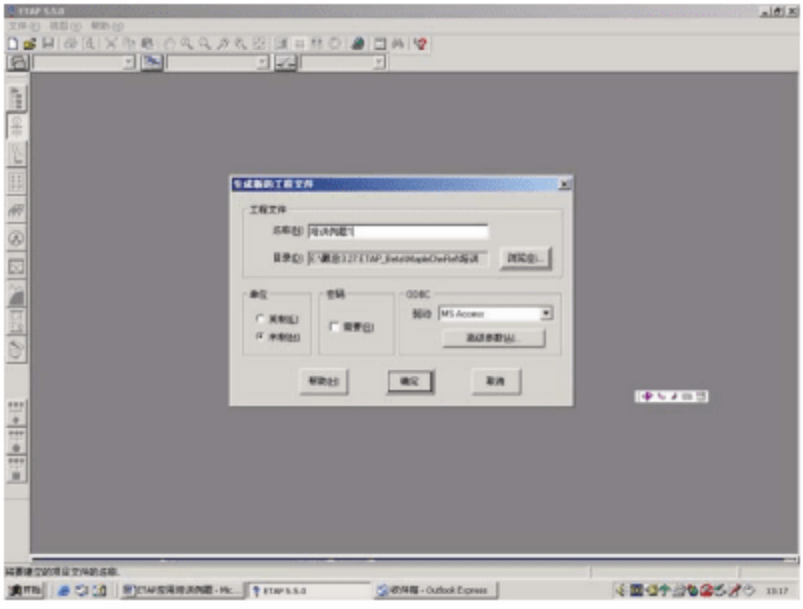
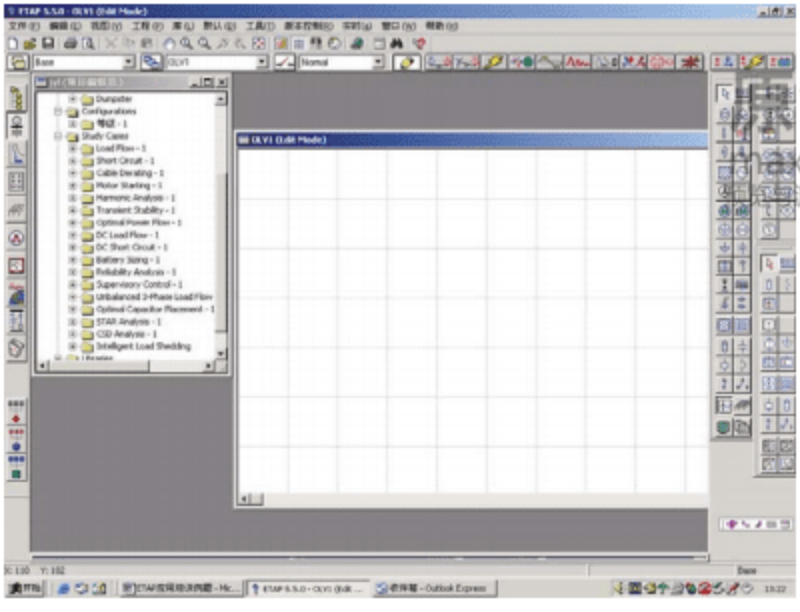


图 1-3 输入工程文件名的界面

4、点击“确定”，打开了 ETAP 软件的编辑模式，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、帮助栏；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。



原创力文档
www.book118.com
预览与源文档一致，下载高清无水印

图 1-4 ETAP 软件的编辑模式

第二节 建立单线图

1、鼠标左键单击元件栏中的交流元件，拖曳到图纸 OLV1(编辑模式)上，如图 1-5 所示。这些元件分别是：等效电网、变压器、传输线、电缆、等效负荷、母线等。

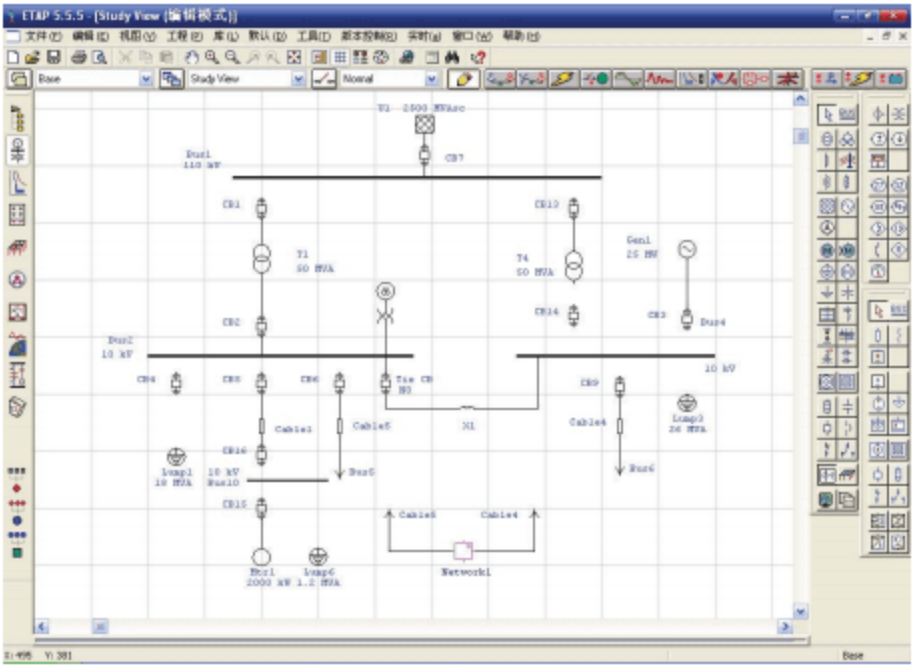


图 1-5 在单线图上添加电力系统元件

2、鼠标左键单击元件的连接端子（呈红色），拖曳到另一个元件的连接端子，呈现红色表示可以连线。依次连线，建立的单线图如图 1-6 所示。

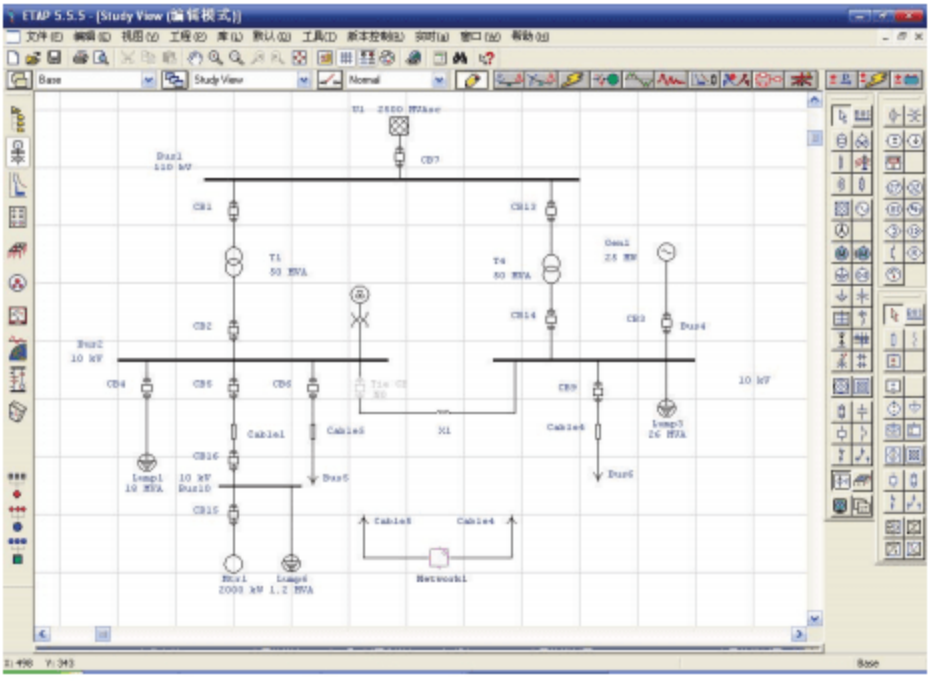


图 1-6 建立的系统单线图

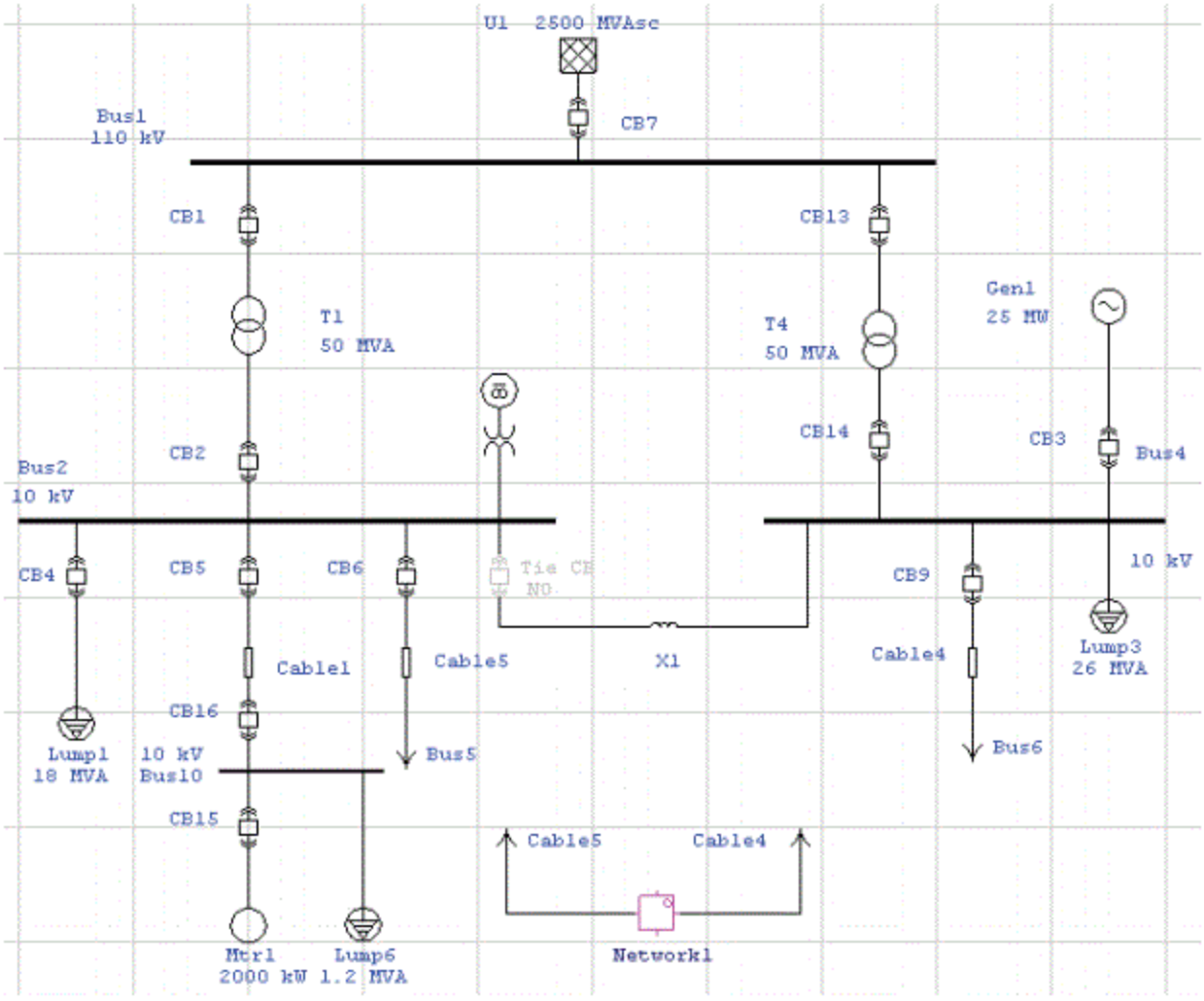


图 1-7 放大的系统单线图

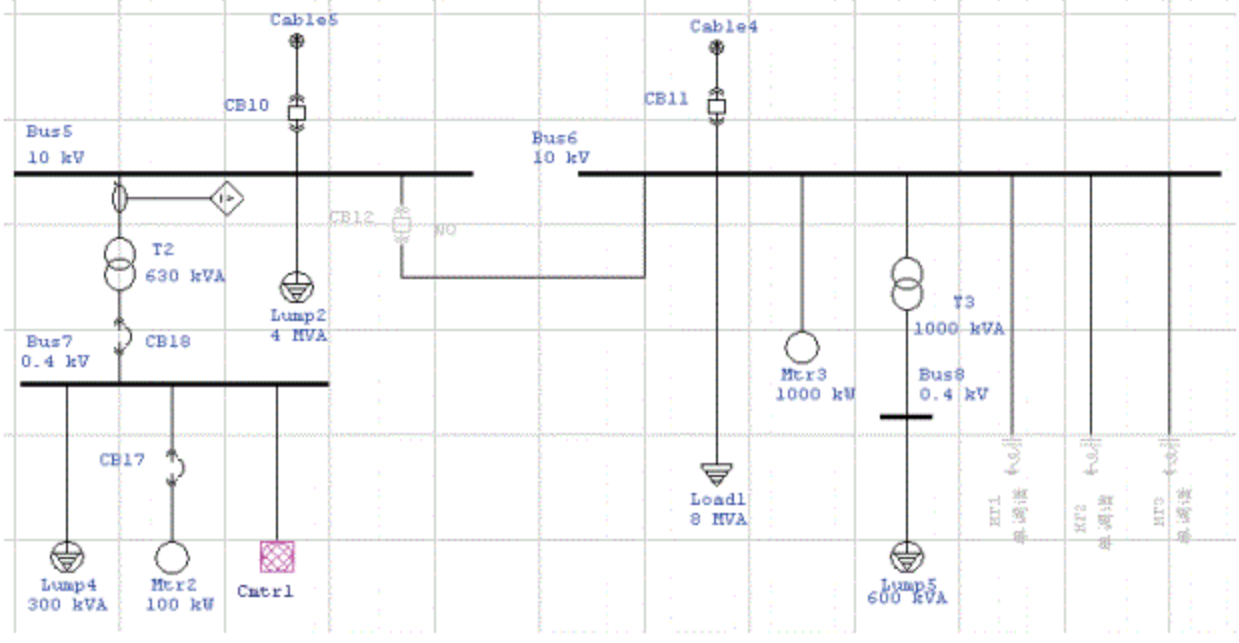


图 1-8 复合网络 Network1 的单线图

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。用户只需录入您将要执行的分析所需要的数据。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：（1）采用元件数据库，快速录入元件参数；（2）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。

原创力文档
max.book118.com
预览文档，下载后无水印

1、录入等效电网 U1 参数

双击元件“等效电网 U1”，输入参数：额定电压 110kV，三相短路容量＝2500MVA，单相短路容量＝2000MVA，X/R 皆取 30。

图 1-9 等效电网编辑器的额定值属性页

2、录入变压器参数

双击“变压器 T1”，打开变压器编辑器输入相应参数，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(MVA)	分接头 Tap	接地	%Z	X/R
T1	110/10.5	50	0/0	Y_0/Δ	10.5	取典型值
T2	10/0.4	0.63	0/0	Δ/Y_0	取典型值	取典型值
T3	10/0.4	1	0/0	Δ/Y_0	取典型值	取典型值
T4	110/10.5	50	0/0	Y_0/Δ	10.5	取典型值

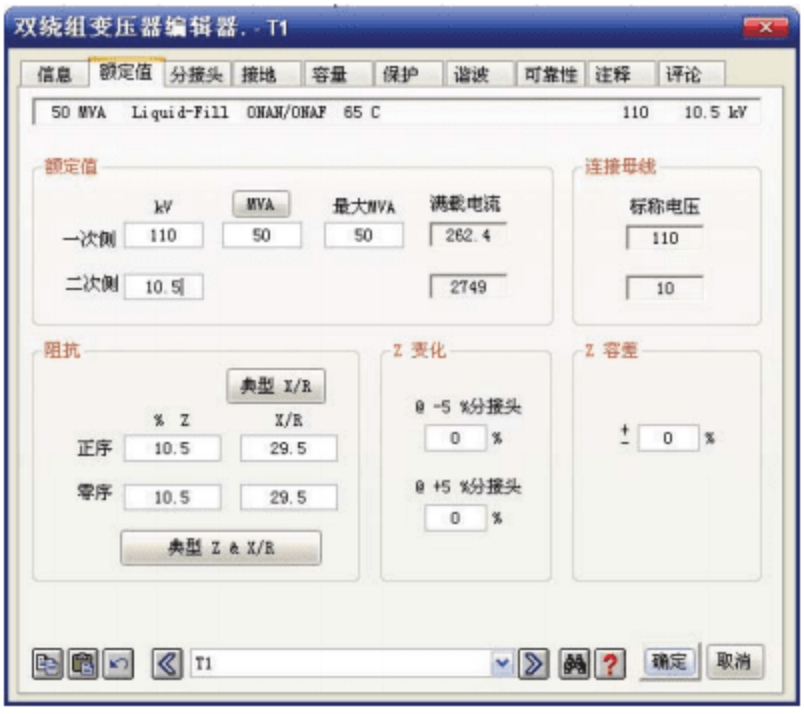


图 1-10 双绕组变压器 T1 编辑器的“额定值”属性页

图 1-11 双绕组变压器 T1 编辑器的“接地”属性页

3、录入等效负荷参数

双击元件“等效负荷 Lump1”，打开等效负荷编辑器—“铭牌”属性页，录入相应的参数：额定容量=18MVA，功率因数(PF)=95%。随后 ETAP 自动生成 17.1MW、5.62Mvar、1039A。负荷模型选定：恒容量 kVA=100%，ETAP 自动生成恒阻抗=0%。负荷类型-Design=100%、负荷类型-Normal=90%。如图 1-12 所示：

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(MVA)	%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、录入静态负荷参数

在静态负荷 Load 1 的“负荷”属性页输入：额定容量=8MVA；功率因数(PF)=85%。ETAP 自动生成 6.8MW、4.214Mvar、461.9A 等数据；负荷类型-Design＝100%、负荷类型-Normal＝80%。如图 1-13 所示。

图 1-13 静态负荷编辑器的“负荷”属性页

5、录入电动机参数

电动机 Mtr1：输入额定功率 2000kW、额定电压 10kV 后自动生成视在功率、满载电流、100% 75% 50%负载下的功率因数及效率、滑差、转速，如图 1-14 所示。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致下载高清无水印

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 台发动机的参数。系统所有电动机的主要参数见表 1-3。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、录入发电机 Gen1 参数

控制方式为无功控制；额定有功功率=25MW；额定电压=10.5kV；功率因数=80%；发电类型=Design，有功功率=25MW，无功功率=15.5 Mvar，Qmax=18.75Mvar，Qmin=-8 Mvar；发电类型=Normal，有功功率=20MW，无功功率=12.4 Mvar，Qmax=15 Mvar，Qmin=-6.5 Mvar，如图 1-15 所示。

图 1-15 同步发电机编辑器的“额定值”属性页

7、录入电缆参数

Cable1：长度=200m。从 ETAP 数据库中选择 BS6622 XLPE 电缆，选定标称面积=

50mm^2。电缆 Cable1 的“信息”属性页如图 1-16-1 所示。ETAP 自动生成单位长度的电阻、电抗和电纳的数值。电缆 Cable1 的“阻抗”属性页如图 1-16-2 所示。系统所有电缆的主要参数见表 1-4。

图 1-16-1 电缆 Cable1 编辑器的“信息”属性页

图 1-16-2 电缆 Cable1 编辑器的“阻抗”属性页

表 1-4　系统所有电缆的主要参数

电缆名称	电缆型号	截面积(mm^2)	长度(m)
Cable1	BS6622 XLPE	50	200
Cable2	BS6622 EPR	400	30
Cable4	BS6622 EPR	400	500
Cable5	BS6622 EPR	400	500

8、录入电抗器参数

电抗器 x1：额定电压=10kV、额定电流=3000A、U_R(%)＝10、X/R=34(取典型值)。输入阻抗有名值：正序阻抗=0.1924Ω，零序阻抗=0.1924Ω。阻抗的计算过程如下

$$Z=10\%\times10\times10^3/(1.732\times3000)\ \Omega=0.1924\Omega。$$

图 1-17　电抗 x1 编辑器的“额定值”属性页

原创力文档
www.book118.com
预览与源文档一致,下载高清无水印

9、母线标称电压取系统标称电压。

10、断路器额定电压取 ETAP 设备数据库的相关断路器的额定电压。

11、其他数据：略

第二章 潮流分析

ETAP 软件不仅能够实现潮流分析功能，同时还能辅助电力系统规划设计工作。如：（1）优化系统运行状态（2）在规划设计中协助用户重新选择设备规格。

第一节　潮流分析

1、编辑好单线图并录入参数后，点击“模式”工具栏的“潮流分析”按钮切换到潮流分析模式，弹出“分析案例”工具栏，窗体右侧的切换为“潮流”工具栏。

2、在“潮流分析案例”工具栏上，通过“分析案例”下拉菜单选择想要编辑的分析案例名称，如 LF，切换到分析案例 LF。（这里也可以新建一个潮流分析案例）

3、在“潮流分析案例”工具栏上，点击“编辑分析案例”按钮，打开“潮流分析案例”编辑器，编辑该潮流分析案例。该编辑器有四个属性页中，具体设置如下：

（1）信息页

①有关设置项的说明：在此可以对潮流计算方法（牛顿—拉夫迅法、快速解耦法等）、最大迭代次数等进行设置，如图 2-1 所示。其中：(a)选定“更新”—“变压器 LTC”复选框表示在潮流计算过程中考虑更新变压器有载调节分接头（LTC）的位置；(b)选定“方法—应用变压器相移”复选框表示潮流计算结果—母线电压的相角是考虑了变压器相移的。

图 2-1 潮流分析案例编辑器的“信息”属性页

②本算例的设置：具体设置情况也如图 2-1 所示。

（2）负荷属性页

①有关设置项的说明

a、发电类型

ETAP 软件有 10 个发电类型可以选择，它们分别通过发电机额定功率的百分数来指定发电机送出的功率，如图 2-2 所示。

图 2-2 潮流分析案例编辑器的“负荷”属性页—发电类型

图 2-3 发电类型名称编辑器

10 个发电类型的名称分别为：Design、Normal、Shutdown、Emergency、Standby、Startup、Accident、Summer Load、Winter Load、Gen Cat 10，如图 2-3 所示，也可以在如图 2-3 所示的编辑器修改 ETAP 给出的名称。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致下载高清无水印

b、负荷类型：有 10 个可以选择，它们分别通过负荷额定容量的百分数来指定负荷消耗的有功和无功功率，如图 2-4 所示。

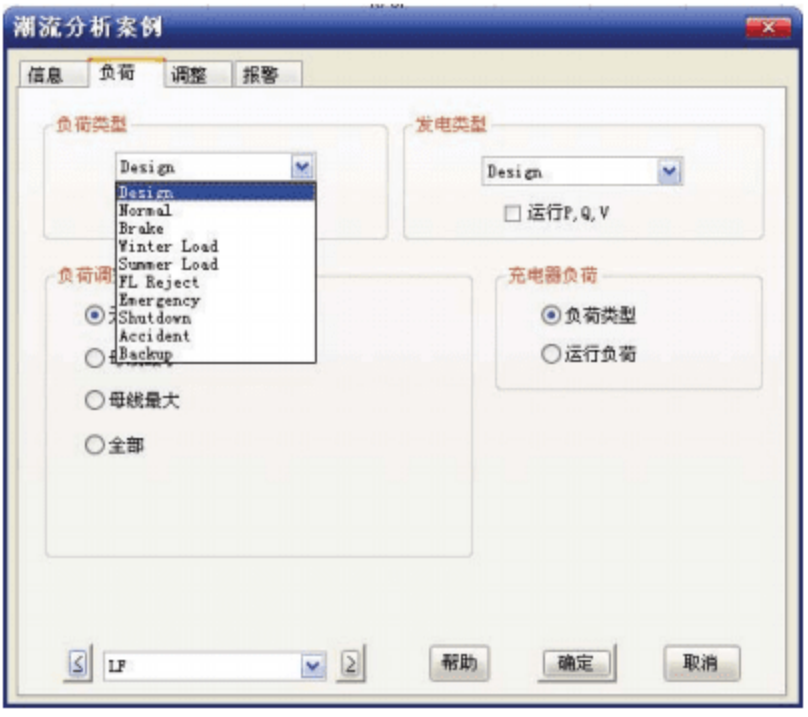


图 2-4 潮流分析案例编辑器的“负荷”属性页—负荷类型

图 2-5 负荷类型名称编辑器

10 个负荷类型的名称分别为：Design、Normal、Brake、Winter Load、Summer Load、FL Reject、Emergency、Shutdown、Accident、Backup，如图 2-5 所示，也可以在如图 2-5

所示的编辑器修改 ETAP 给出的名称。ETAP 软件的负荷包括：感应电动机、同步电动机、等效负荷、静态负荷等。

图 2-6 潮流分析案例编辑器的“负荷”属性页—负荷调整系数

图 2-7 母线 Bus4 编辑器的“信息”属性页—负荷调整系数

c、如图 2-6 所示，负荷调整系数的意义：

(a)复选框“无”表示：负荷取值＝负荷额定容量×负荷类型（即额定容量的百分数）；

(b)复选框“母线最小”表示：负荷取值＝负荷额定容量×负荷类型×母线的负荷调整系数的最小百分数；

(c)复选框“母线最大”表示：负荷取值＝负荷额定容量×负荷类型×母线的负荷调整系数的最大百分数；

(d)复选框“全部”表示：负荷取值＝负荷额定容量×负荷类型×指定的各类负荷的百分数，例如下图设置即取全部恒容量负荷的 125%；

说明：在母线编辑器的“信息”属性页指定母线的负荷调整系数(%)，默认最小值=80%，默认最大值=125%，如图 2-7 所示。

②本算例的设置：将负荷类型、发电类型均设置为“Design”，负荷调整系数选择“无”复选框，具体设置如图 2-8 所示：

图 2-8 潮流分析案例编辑器的“负荷”属性页设置

3）调整属性页：取默认设置值。

4）报警属性页：设置临界和边界报警的范围，临界呈红色，边界呈粉红色。此处取默认设置值。潮流分析案例的“报警”属性页如图 2-9 所示。

图 2-9 潮流分析案例编辑器的“报警”属性页

4、编辑好潮流分析案例后，点击“潮流”工具栏中的“启动潮流计算”按钮，ETAP 运行潮流分析案例 LF，选取输出报告名称=LF_Report。潮流分析出现报警提示：母线 Bus10、Bus2、Bus5、Bus6 的电压超过 102%标称电压；Bus4、Bus8 的电压超过 105%标称电压；电缆 Cable1 电流超过额定电流，达到 128.7%；发电机运行功率等于额定功率，即达到 100%；变压器 T2 的负荷已经超过 95%额定容量。报警窗口如图 2-10 所示。

Load Flow Analysis Alert View - Output Report: LF_Report

分析案例: LF　　数据修订: Base
配置: Normal　　日期: 26-05-2007

临界

设备 ID	类型	状态	额定/限制	运行	运行百分数	相类型
Bus4	母线	过电压	10 kV	10.531	105.3	3-Phase
Bus8	母线	过电压	0.4 kV	0.424	105.9	3-Phase
Cable1	电缆	过负荷	161 Amp	207.247	128.7	3-Phase
Gen1	发电机	过负荷	25 MW	25	100	3-Phase

边界

设备 ID	类型	状态	额定/限制	运行	运行百分数	相类型
Bus10	母线	过电压	10 kV	10.202	102	3-Phase
Bus2	母线	过电压	10 kV	10.253	102.5	3-Phase
Bus5	母线	过电压	10 kV	10.236	102.4	3-Phase
Bus6	母线	过电压	10 kV	10.487	104.9	3-Phase
T2	变压器	过负荷	0.63 MVA	0.613	97.4	3-Phase

图 2-10 潮流分析模块的报警窗口

第二节 潮流分析中变压器 LTC 的应用

1、投入双绕组变压器 T1 高压侧的 LTC，即选定一次侧 LTC 的 AVR，“√”表示选定，如图 2-11 所示。单击“LTC”按钮，出现“负荷分接头调节器”编辑器，在计算过程中自动调节分接头，使得母线 Bus2 的电压达到 100%母线标称电压，如图 2-12 所示。对于双绕组变压器 T4，也投入负荷分接头调节器（LTC）。

图 2-11 双绕组变压器 T1 编辑器的“分接头”属性页 - LTC / 电压调节器

图 2-12 双绕组编辑器 T2 编辑器—“分接头”—“负荷分接头调节器(LTC)”

2、重新运行潮流分析案例 LF，母线电压超过临界和边界的报警消除，电缆 Cable1 过负荷状况仍然存在，发动机 Gen1 发电功率达到 100%额定功率，变压器 T2 的负荷已经超过 95%额定容量，如图 2-13 所示。

Load Flow Analysis Alert View - Output Report: LF_Report

分析案例: LF　　数据修订: Base
配置: Normal　　日期: 26-05-2007

临界

设备 ID	类型	状态	额定/限制	运行	运行百分数	相类型
Cable1	电缆	过负荷	161 Amp	212.768	132.2	3-Phase
Gen1	发电机	过负荷	25 MW	25	100	3-Phase

边界

设备 ID	类型	状态	额定/限制	运行	运行百分数	相类型
T2	变压器	过负荷	0.63 MVA	0.614	97.4	3-Phase

图 2-13 投入 LTC 之后的潮流分析的报警视窗

第三节 变压器容量估计

潮流计算结果显示变压器 T2 容量不够，需要重新选择容量。具体操作如下：

1、打开变压器 T2 编辑器的“容量”属性页，如图 2-14 所示。指定负荷增长因子为 110%，海拔高度为 500 米，环境温度为 30 摄氏度。单击“连接”按钮，选择“较大容量”的数值，单击“确定”按钮。重新选择了 800kVA 变压器。

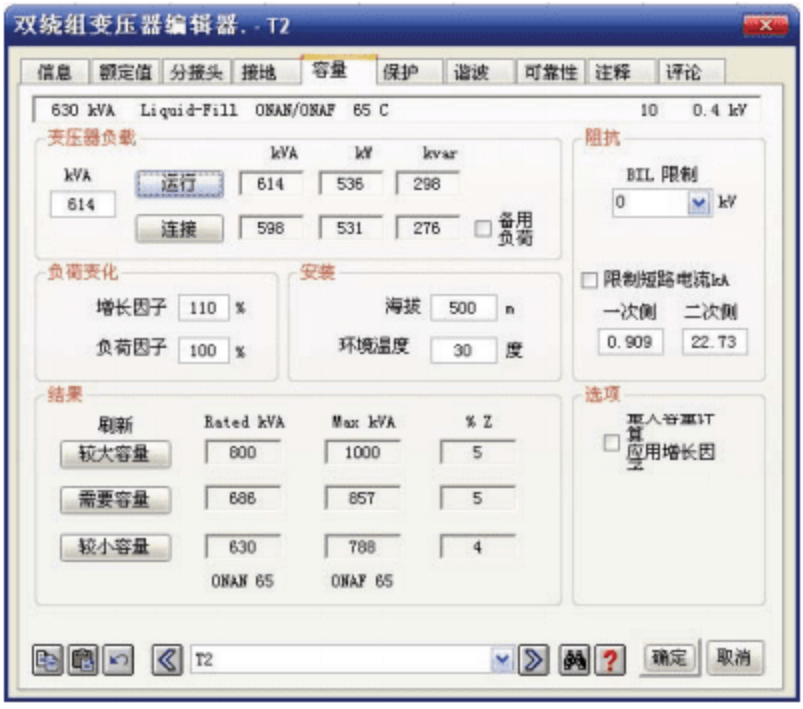


图 2-14 双绕组变压器 T2 的“容量”属性页

2、再次运行潮流分析案例 LF，则变压器 T2 过负荷报警提示消除。潮流分析的报警窗口如图 2-15 所示。

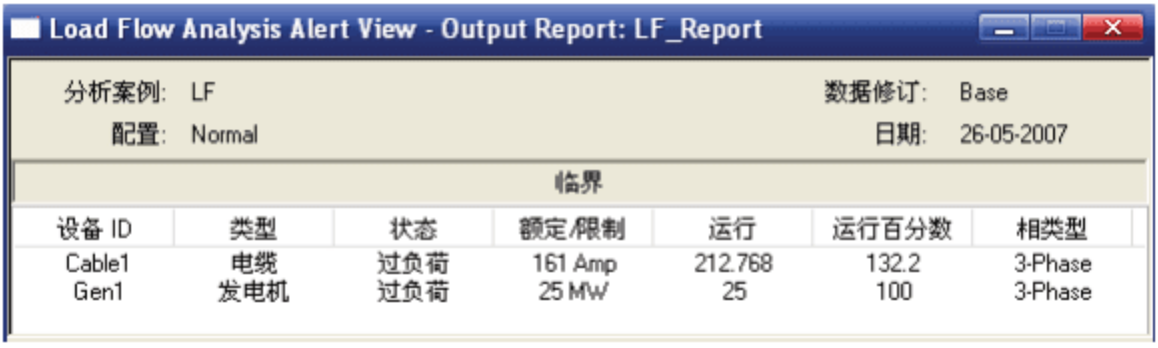


图 2-15 在投入 LTC 和重选变压器容量之后，潮流分析报警窗口

第四节 电缆尺寸选择

以电缆 Cable1 为例，它的“载流量”属性页如图 2-16 所示。电缆 Cable1：50mm^2、铜质、11kV、BS6622、XLPE、3/C（三芯）。数据版本＝Base，电缆 Cable1 的编辑器－“载流量”属性页：安装类型是“架空电缆桥架”，应用于“Medium Voltage Motors (中压电动机)”；运行温度 T_a=35° C，T_c=90° C；托架：NEC，上部覆盖；载流量基准值是 220A，整定值(校正值)是 192.3A。

图 2-16 电缆 Cable1 编辑器的“载流量”属性页

潮流计算结果报警显示：电缆 Cable1 过载，电缆载流量的校正值是 192.3A，电缆运行电流值是 212.768A。需要重新选择电缆尺寸，操作步骤如下：

1、如图 2-17 所示，在电缆编辑器的“尺寸”属性页—“电缆负载”框中，选中“用户自定义”复选框，指定电缆负载电流为 220A。然后在“结果”框中，点击“选择”按钮，选定 70mm^2 电缆，点击“确定”按钮。计算电缆尺寸的结果见表 2-1。

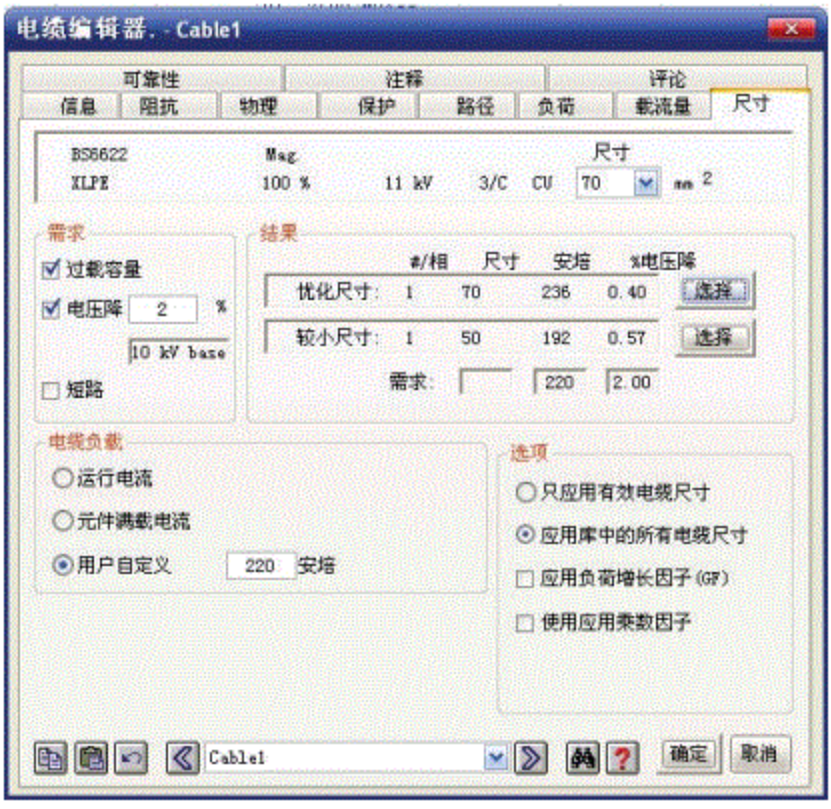


图 2-17 电缆编辑器的“尺寸”属性页

表 2-1 计算电缆尺寸的结果

电缆负载	数值	导体数/相	电缆尺寸	载流量	电压降
以用户自定义电流为准	优化值	1	70	236	0.40
	最小值	1	50	192	0.57
	要求值			220	小于 2.00

2、重新运行潮流分析，电缆 Cable1 过载报警消除。

第五节 不同负荷类型与发电类型用于潮流计算

利用发电类型、负荷类型、负荷调整系数、数据版本以及电力系统配置状态，可以方便的实现不同系统运行状态下的潮流分析工作，简化数据录入工作。其中，利用发电类型、负荷类型、负荷调整系数，可以为不同系统运行状态指定负荷值和发电出力；利用电力系统配置状态，指定开关设备的状态，从而确定不同系统运行状态下的网络拓扑；而版本管理功能，可更大程度的实现为不同系统状态下指定元件参数。例如，ETAP 可以录入更少的数据，就可确定“夏季最大”、“夏季最小”等运行方式下的网络结构、发电机出力和负荷值。具体操作如下：

1、点击“系统配置”工具栏上的“配置管理器”按钮，打开“配置管理器”，点击“新建”按钮,新建二个配置，取名为“夏季最大”、“夏季最小”，分别对应于“夏季最大”与“夏季最小”运行方式。

2、在“配置状态”下拉列表中选择“夏季最小”，编辑“夏季最小”系统配置：打开“CB6” 元件编辑器，在“信息”页－“配置”栏－“状态”项上选中“打开”复选框；以同样的方式关闭断路器“CB12”；打开“Mtr5” 元件编辑器，在“信息”页－“配置”栏－“状态”下拉列表中选择“后备”复选框；同样，Mtr6 也做同样操作。

3、“夏季最大”系统配置不作更改。

4、假设所有负荷在“夏季最大”运行方式下，负荷大小对应于负荷类型 Design；在“夏季最小”运行方式下，负荷大小对应于负荷类型 Normal。

5、假设所有发电机在“夏季最大”运行方式下，发电出力对应于发电类型 Design；在“夏季最小”运行方式下，发电出力对应于发电类型 Normal。

6、新建潮流分析案例“夏季最大潮流”和“夏季最小潮流”，分别对应于“夏季最大”、“夏季最小”运行方式；在“潮流分析案例”编辑器的“负荷”属性页，分别设定“夏季最大潮流”和“夏季最小潮流”的负荷类型、发电类型，具体如下：

夏季最大潮流：负荷分类 Design、发电分类 Design；

夏季最小潮流：负荷分类 Normal、发电分类 Normal。

7、对“夏季最大”运行方式进行潮流分析：在“系统配置”下拉列表中，选择“夏季最大”系统配置状态；在“潮流分析案例”下拉列表中，选择“夏季最大潮流”；在“输出报告”下拉列表中，选择“夏季最大潮流报告”；单击“潮流分析”工具栏中的“启动潮流计算”按钮。ETAP 软件输出报告的默认格式是水晶报告格式，潮流分析输出水晶报

告如图 2-18 所示。ETAP 软件输出报告可以很方便地转换成 PDF 格式，如图 2-19 所示。

图 2-18 潮流分析输出报告默认格式——水晶报告格式

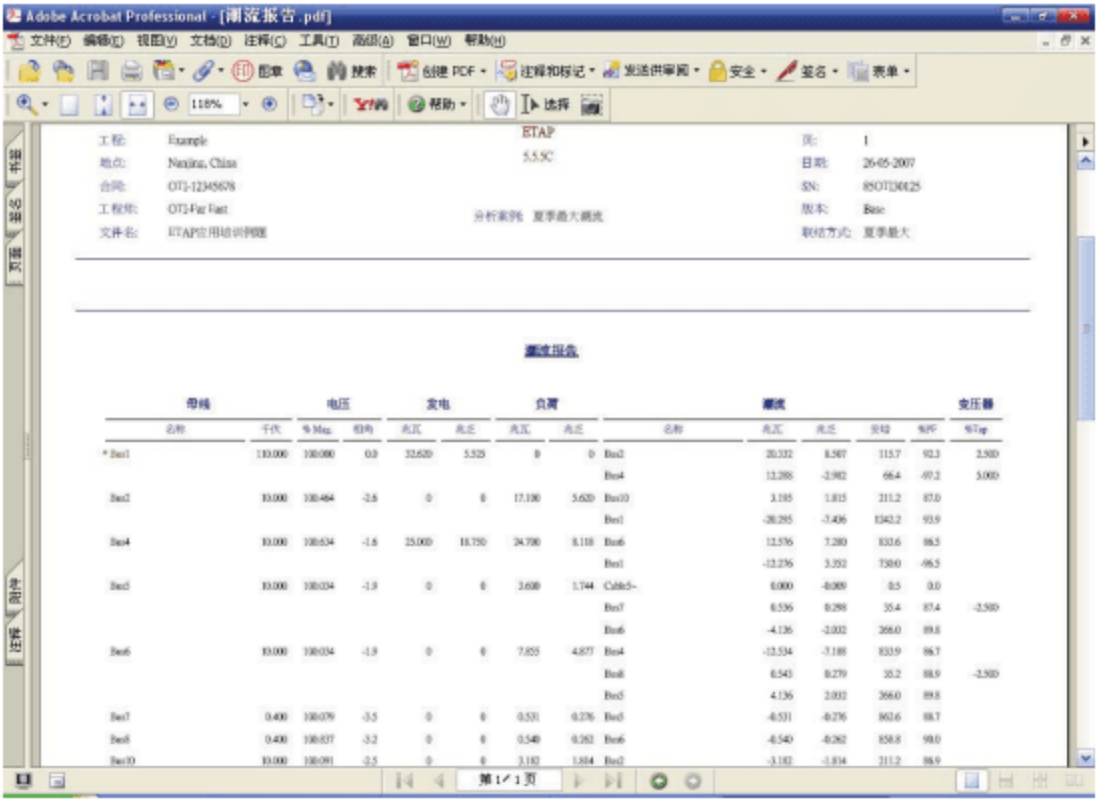


图 2-19 潮流分析输出报告转换为 PDF 格式

8、对“夏季最小”运行方式进行潮流分析：在“系统配置”下拉列表中，选择“夏季最小”系统配置状态；在“潮流分析案例”下拉列表中，选择“夏季最小潮流”； 在“输出报告”下拉列表中，选择“夏季最小潮流报告”；单击“潮流分析”工具栏中的“启动潮流计算”按钮。

第三章 短路分析

点击“模式”工具栏中的“短路分析”按钮，切换到短路案例分析模式。此时，右侧的工具栏转换为“短路分析工具栏”。

第一节 增添短路分析需要的数据

由于发电机 Gen1 的直轴次暂态电抗 X_d”和直轴电抗 X_d 为零，不能做短路计算。在单线图上双击 Gen1，打开 Gen1 编辑器“阻抗/模型”属性页，同步发电机编辑器的“阻抗/模型”属性页如图 3-1 所示。选中“动态模型”框中“暂态”复选框，再点击“典型数据”按钮，赋值于这两个参数，即可做短路计算了。

图 3-1 同步发电机编辑器的阻抗/模型属性页

第二节 设定故障位置与设置短路分析参数

1、设定故障位置为 Bus4：单击母线 Bus4，选定母线 Bus4；单击鼠标右健，弹出快捷菜单，选择“故障”。

2、在“分析案例”工具栏中，点击“编辑分析案例”按钮，打开“短路分析案例”编辑器，在此可以更改短路分析的参数与设置。本算例对默认的参数不作更改。

第三节 三相短路计算

1、单击右侧分析工具栏的“启动三相短路电流计算（IEC909）”，执行三相短路分析。

2、点击分析工具栏的“显示选项按钮”，打开“显示选项—短路编辑器”，在“结果”页—“三相故障”框中，选择显示“对称初始值”或者“峰值”。

第四节 断路器的选择和电缆热稳定校验

1、断路器的选择

（1）打开断路器 CB3 的编辑，选择“库”中的 Siemens 12-3AF-63；在开断电流下拉列表中选择，将交流开断电流指定为 50kA。具体如下图 3-2 所示：

图 3-2 高压断路器 CB3 编辑器的额定值属性页

（2）仍设定 Bus4 三相短路，运行三相短路计算（Duty）后出现断路器报警窗口：单击右侧“短路”工具栏中的“报警视窗”按钮，打开“短路分析报警视窗”，可以看到详细的报警信息如图 3-3 所示。

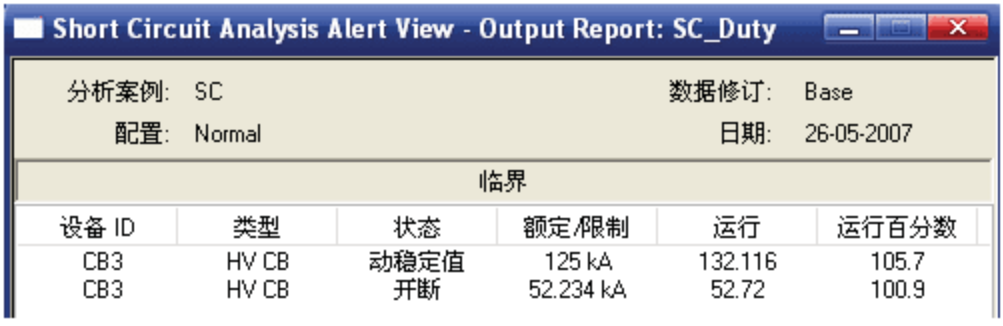


图 3-3 母线 Bus4 故障，三相短路分析报警信息

（3） 重新选择断路器 CB3 的参数：在单线图上双击 CB3，打开“高压断路器编辑器”，将开断电流设为 63kA，额定动稳定电流设为 163 kA，如图 3-4 所示。

图 3-4 重新选择参数后的高压断路器 CB3 编辑器

（4） 再点击右侧“短路”工具栏中的“启动三相短路电流计算（IEC909）”按钮，重新执行三相短路分析，运行后则报警消失。

2、电缆热稳定校验

（1）在电缆编辑器—“尺寸”属性页—“需求”对话框，选定“短路”。在电缆编辑器—“短路”对话框填写：最大短路电流=27.24 kA，时间=0.6 秒。短路前电缆的工作温度 T_c=90℃，可以在电缆编辑器的“载流量”属性页修改此值。ETAP 软件自动给出：电缆优化尺寸=150mm^2，最小尺寸=120 mm^2，选定优化尺寸，如图 3-5 所示。

图 3-5 电缆编辑器的“尺寸”属性页——根据短路选定尺寸

第五节 不对称故障分析

1、采用上述相同的方法，设置母线 Bus10 故障；

2、点击短路分析工具条的“IEC909”按钮，进行不对称短路计算。

3、显示选项编辑器图 3-6 所示，点击“显示选项”按钮，可以在单线图上显示不同类型短路（L-G、L-L、L-L-G）的序分量、相分量以及 A 相电压和零序电流。

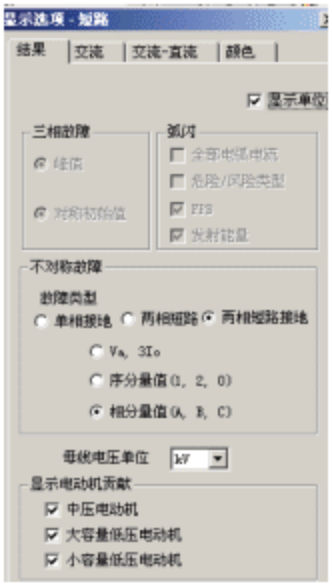


图 3-6 短路分析模块的显示选项

4、点击“报告管理器”按钮，打开的“IEC Unbalanced SC 报告管理器”，如图 3-7 所示。

图 3-7 IEC 不平衡短路报告管理器

表 3-1 母线 Bus10 不对称短路电流

电流名称	3 相短路	单相接地	两相短路	两相短路接地
初始对称电流(kA, rms)	30.127	0	26.080	26.080
峰值电流(kA)	67.229	0	58.198	58.198
开断电流(kA, rms, symm)		0	26.080	26.080
稳态电流(kA, rms)	21.270	0	26.080	26.080

从报告中可以看出：1）母线 Bus10 总的三相短路电流＝30.1kA，来自母线 Bus2、

Mtr1 和 Lump6 三个方向的短路电流分别是 28.66kA、0.980kA 和 0.495kA；2）对应 4 种不同的短路类型一组短路电流值见下表 3-1；等等。

短路分析报告根据 IEC60909 标准给出全面的信息，其中短路结果报告如图 3-8 所示。

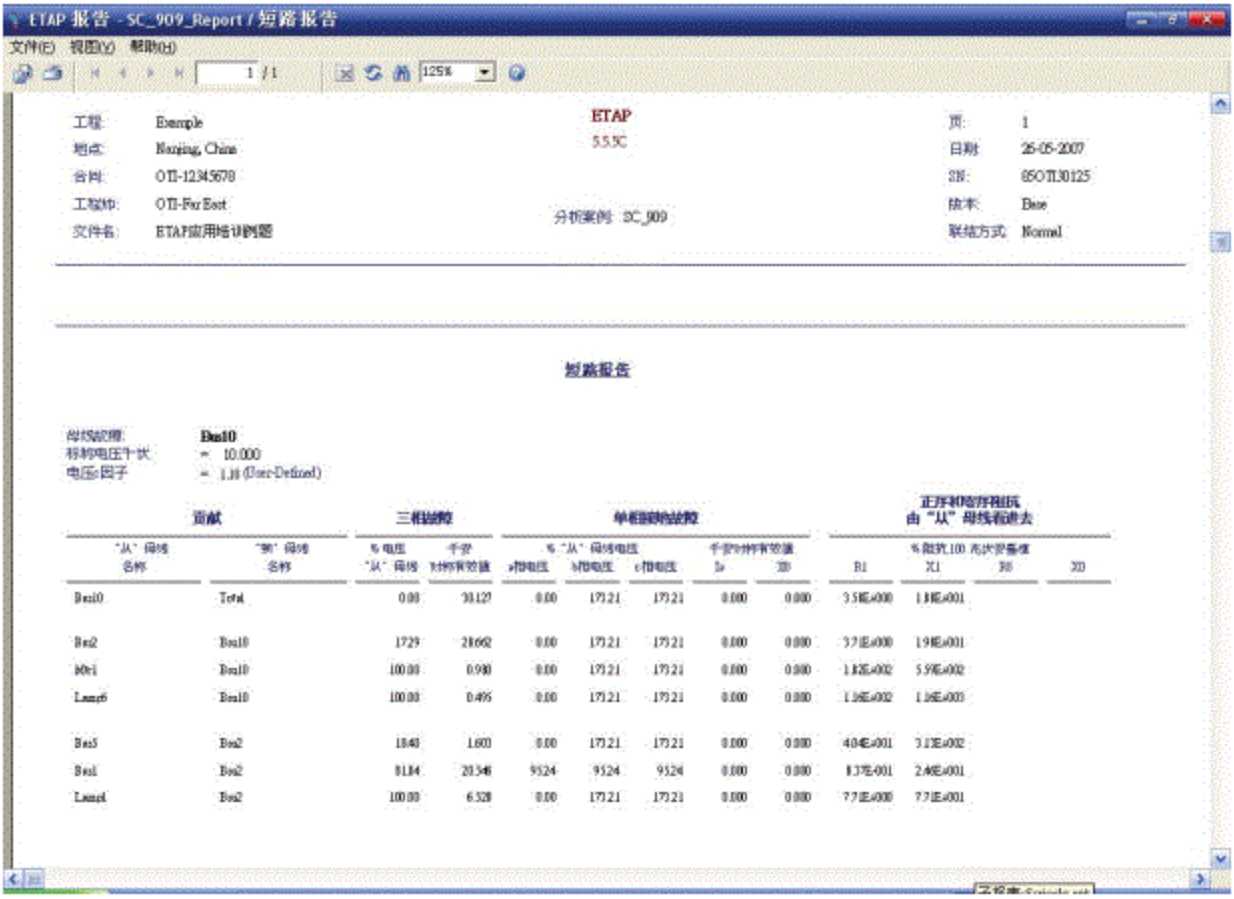


图 3-8　短路分析—结果报告

第六节　暂态短路电流计算（IEC363）

除了与开关设备选型有关的开断电流（容量）等计算之外，ETAP 也根据 IEC 标准 63163-1 提供了暂态短路电流计算。暂态短路电流计算用时间函数的形式表示了故障电流的波形，其中考虑到一系列故障后不同时间内影响短路电流的因素。这些因素包括同步电机次暂态阻抗、暂态阻抗、阻抗、次暂态时间常数、暂态时间常数、和直流时间常数。也包括感应电动机反馈电流的衰减。

这种详细的计算模型，为孤立电力系统——例如船舶和海上采油平台——的保护设备选型和继电器配合，提供了精确的短路电流估算。该计算方法也可用于带一个或多个电压源的辐射型系统和环形系统。

ETAP 的计算结果是短路电流是以 0.001 为步长直到 0.1 秒的时间的函数。也显示了

短路电流的 1 周波的函数，以 0.1 周波为步长。除了瞬时电流值，ETAP 还计算交流分量、直流分量和电流波形的顶部包络线。点击“总结报告”属性页，输出的总结报告给出每条母线的初始、暂态和稳态的故障电流。

下面以母线 Bus2 故障为例，具体操作步骤如下：

1、在进行此项计算之前，必须给发电机 Gen1 的次暂态直轴开路时间常数 T_{do}''和暂态直轴开路时间常数 T_{do}' 赋值。打开发电机编辑器，点击“阻抗/模型”属性页，同步发电机的“阻抗/模型”属性页如图 3-9 所示。点击“动态模型”的“次暂态”复选框，再点击“典型数据”按钮，点击“确定”按钮。在 ETAP 软件建立了同步发电机的次暂态与暂态计算模型之后，就可以做基于 IEC61363 标准的暂态短路电流计算。

图 3-9 同步发电机编辑器阻抗/模型属性页

2、设置母线 Bus2 为故障母线，点击分析工具栏的“暂态短路电流计算 IEC363”按钮，完成暂态短路电流计算。

3、单击分析工具栏的“IEC363 短路计算画图”按钮，打开 IEC363 画图选择对话框如图 3-10 所示：

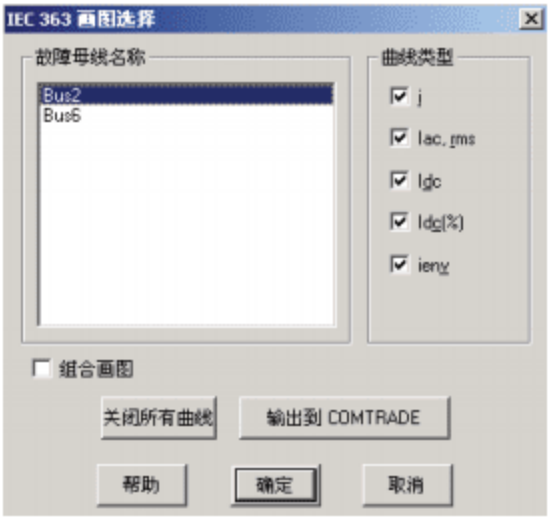


图 3-10 IEC363 画图选择对话框

在此可选择需要输出的曲线，它们包括：1）瞬时电流 i；2）交流电流有效值；3）直流电流（有名值）；4）直流电流（百分数）；5）包络线。例如，母线 Bus2 发生三相短路，总的故障电流瞬时值 i 的曲线如图 3-11 所示：

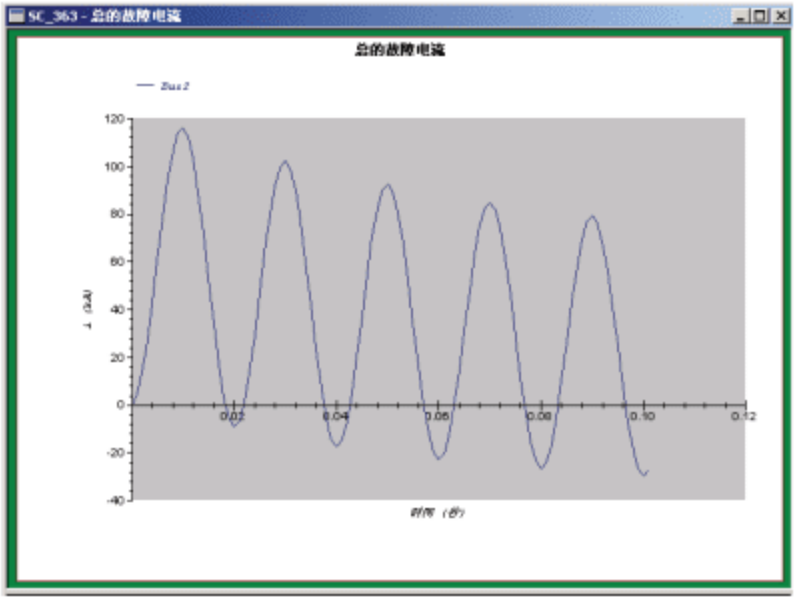


图 3-11 母线 Bus2 发生三相短路,总的故障电流瞬时值

第七节 不同的数据版本用于设置系统短路计算的最大与最小运行方式

1、数据版本取名“最大运行方式”

等效电网 U1：

最大运行方式：三相短路容量：2500MVA，X/R=30

单相短路容量：2000MVA,，X/R=30

2、数据版本取名“最小运行方式”。

等效电网 U1：

最小运行方式：三相短路容量：2000MVA，X/R=30

单相短路容量：1600MVA，X/R=30

第四章 电动机起动分析

数据版本是 Base，系统配置是 Normal，单线图名称是 Study View 。

第一节 静态电机起动分析

静态电动机起动方法假定电动机总是都可以起动的。在“电动机编辑器”中设定电动机在空载和满载情况下的加速时间，程序在这两个值的基础上根据负荷改写加速时间。在加速过程中，用堵转转子阻抗表示电动机，它可以从系统中获得最大电流，对系统中其它运行负荷的影响也最大。一旦加速过程结束，电机就是一个恒定功率负荷。ETAP 根据在电动机编辑器中设定的起动和最终负荷来模拟负荷的斜坡增长过程。更多信息参见电动机编辑器中的电动机起动类型属性页。

1、点击“模式工具栏”中的“电动机加速分析”按钮，切换到电动机起动案例分析模式。右侧的工具栏转换为“电动机起动工具栏”。

2、点击分析案例工具栏的“新的分析案例”按钮，新建电动机起动分析案例，名称：静态起动 1。

3、编辑电动机起动事件：点击“分析案例”工具栏中的“编辑分析案例”按钮，打开“电动机起动分析案例”编辑器，在“事件”页中设置事件，起动事件设置如下表 4-1。具体操作步骤如下：

表 4-1 静态起动 1 的事件设置

事件名称	时间(s)	动作	起动负荷	起动类型	额定功率	额定电压
事件 1	1.0	Start	Mtr1	Normal	2000kW	10kV

（1）单击“事件”框中的“添加”按钮，打开“事件”编辑器，输入事件名称，如：“事件 1”,并设定事件开始的时间 1.0s，如图 4-1 所示：

图 4-1 电动机起动分析的事件编辑器

（2）如图 4-2 所示，单击“按设备动作”框中的“添加”按钮，打开“通过设备添

加动作”对话窗，按下图设置各项，并单击“确定”。

图 4-2 电动机起动分析——“通过设备添加动作”对话框

4、添加设备参数：

（1）在感应电动机 Mtr1 编辑器——“负载模型”属性页，设置加速时间：空载＝2s，满载＝12s，如下图 4-3 所示：

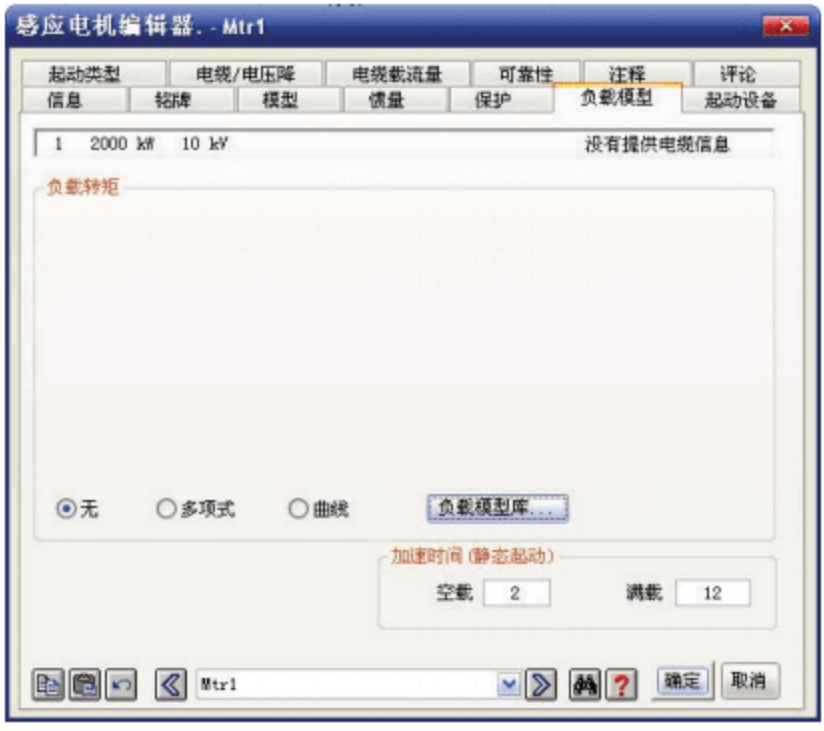


图 4-3 感应电动机 Mtr1 编辑器——“负载模型”属性页

（2）在感应电动机 Mtr1 编辑器的起动类型页，选定起动类型＝Normal，起动负荷%＝20，最终负荷%=100，负荷开始改变时间＝2s，负荷结束改变时间＝6s，如下图 4-4 所示：

图 4-4 感应电动机 Mtr1 编辑器的负荷类型页

5、点击分析工具栏的“起动静态电机分析”按钮，完成电动机静态起动分析。

6、点击分析工具栏的“电动机起动画图”按钮，“电动机起动画图选择”对话框如图 4-5 所示。选取电动机 Mtr1 的起动电流、机端电压和有功需求曲线，分别如图 4-6、4-7 和 4-8 所示。

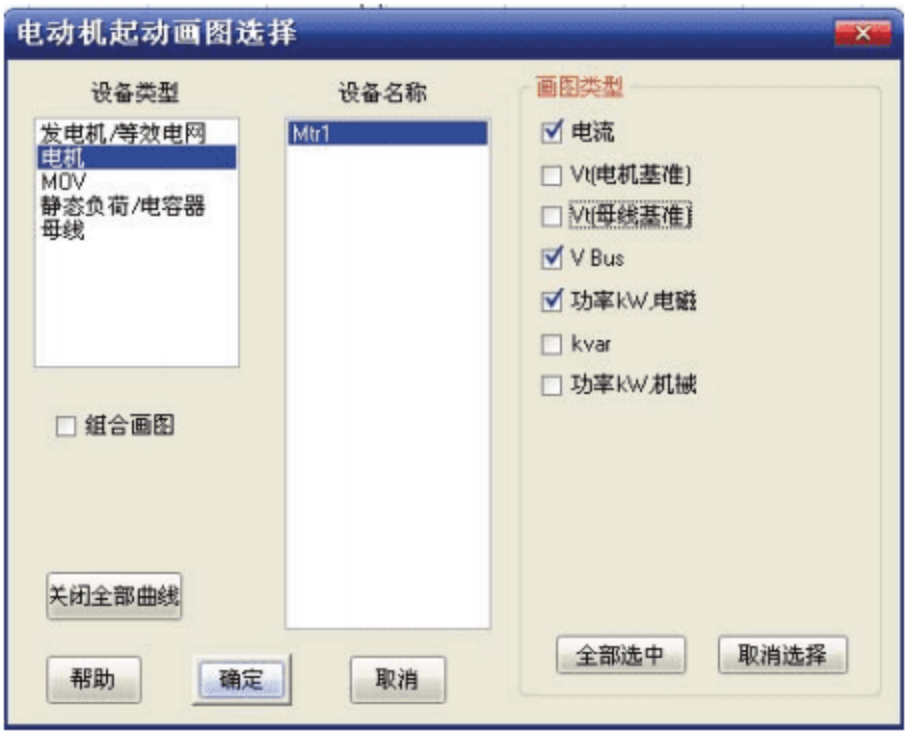


图 4-5 电动机起动画图选择对话框

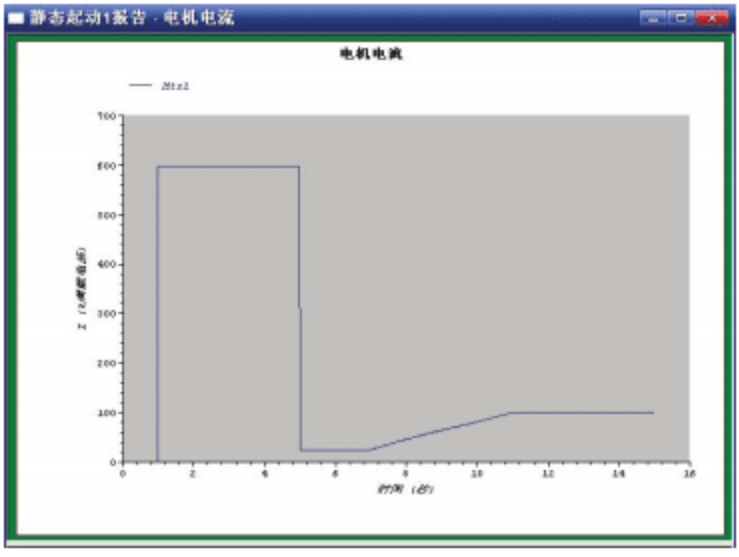


图 4-6　电动机 Mtr1 的起动电流曲线

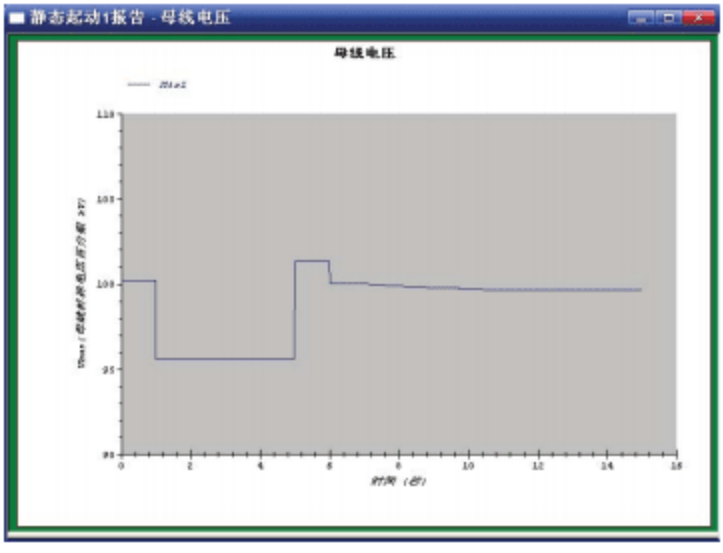


图 4-7 电动机 Mtr1 的母线电压曲线

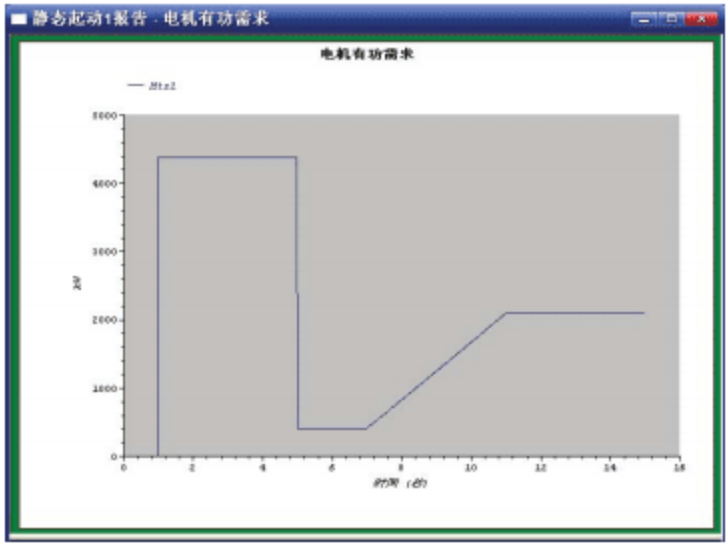


图 4-8 电动机 Mtr1 的有功功率需求曲线

7、打开此分析案例的分析报告，可看到对应每个时刻的电气量和机械量的数值大小。

第二节 动态加速分析

在动态电机加速算法中，在整个模拟过程中以动态模型来加速电动机。在这种分析中，应该为电动机所带动的负荷定义负荷转矩模式。

在感应电动机的“模型”属性页或者同步电动机“LR 模型”属性页，为从五种不同形式中选择一个作为电机动态模型。

1）Single1 – 有恒定的转子电阻和电抗的等值电路模型；

2）Single2 – 有深槽效应的，转子阻抗和电抗随着转速变化的电路模型；

3）DBL1 – 有集成转子笼的双笼回路模型；

4）DBL2 – 有独立转子笼的双笼回路模型；

5）TSC – 转矩转差特性曲线模型。

其中 Single1、Single2、DBL1 和 DBL2 模型都是建立在电动机等值电路的基础上的，在 TSC 模型下可以从制造商特性曲线中直接设定电动机起动模式。在“电动机库”中可以选择已有的模型也可创建自己的电动机模型。

ETAP 也允许您为每台电动机设定负荷转矩曲线。可以从“电动机负荷库”中选择已有的模型也可创建自己的电动机模型 。

因为电动机起动方式的区别，如果您很在乎电动机起动对系统中其它运行负荷的影响或无法得到起动电动机的动态模型信息，可以进行静态电动机起动分析。相反，如果您关心的是实际起动时间或是电动机是否可以成功起动，则进行动态电动机加速分析。

1、新建动态分析案例，分析案例名称：动态起动 1，并设置起动事件，起动事件设置见表 4-2。（设置方法与静态分析相同）

表 4-2 动态起动 1 的事件设置

事件名称	时间(s)	动作	起动负荷	起动类型	额定功率	额定电压
事件 1	0.5	Start	Mtr1	Normal	2000kW	10kV

点击“启动动态电动机分析”按钮，不能完成起动分析。原因是缺少：1）电动机模型；2）负载模型；3）缺少参数 H。

2、添加需要的数据

（1）打开 Mtr1 的编辑器—模型\选中 CKT，点击 Lib 按钮，最终选定的等值电路模型如图 4—7。

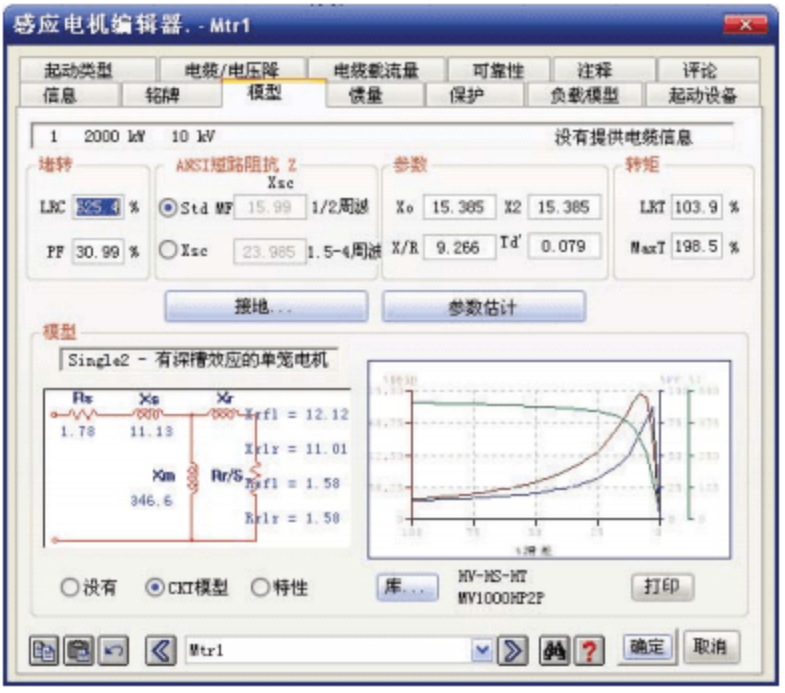


图 4-9 电动机编辑器的模型属性页

（2）打开“电动机”编辑器—“负载模型”属性页-选定“多项式”，点击“负载模型库”按钮，选择 Pump 负载模型如图 4-10 所示。

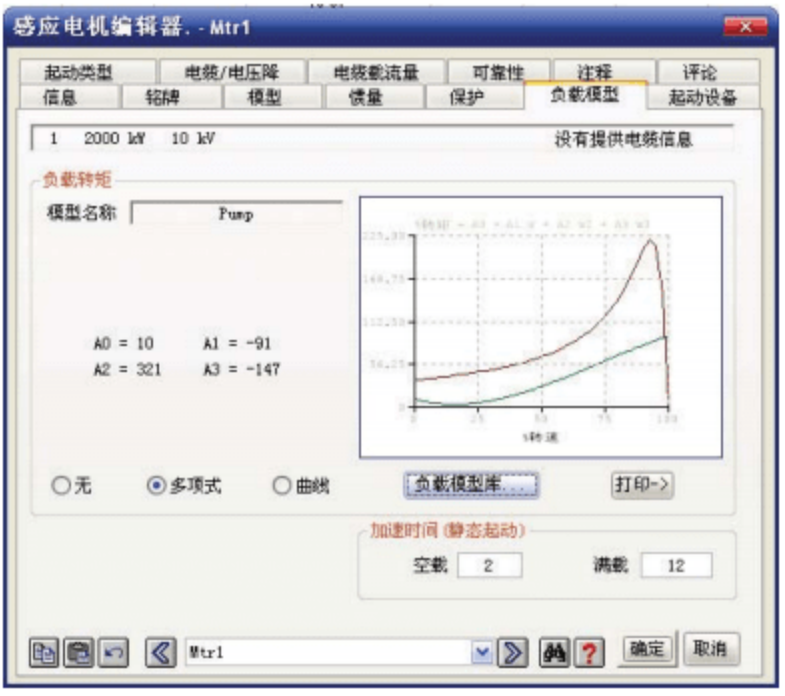


图 4-10 电动机编辑器的负荷模型属性页

（3）打开电动机编辑器——“惯量”属性页，设置参数如图 4-11 所示。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致下载高清无水印

图 4-11 电动机编辑器的惯量属性页

3、电动机动态起动分析：单击“电动机起动工具栏”中的“启动动态电动机分析”按钮，完成电动机起动分析。

4、点击分析工具栏的“电动机起动画图”按钮，获得如下电动起动曲线：1）电动机有功功率输出曲线，如图 4-12 所示；2）电动机转矩曲线，如图 4-11 所示；3）负载转矩曲线，如图 4-12 所示；4）母线电压曲线，如图 4-13 所示；5）电动机的电流曲线，如图 4-14 所示。

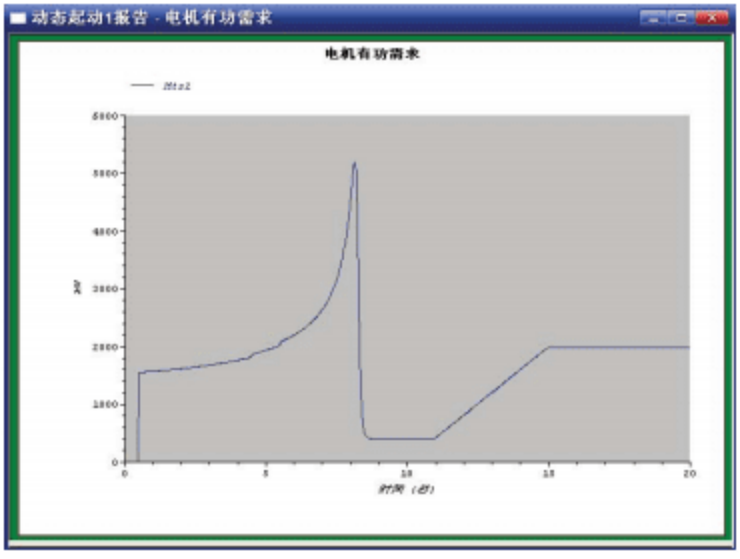


图 4-12 电动机 Mtr1 的有功功率输出曲线

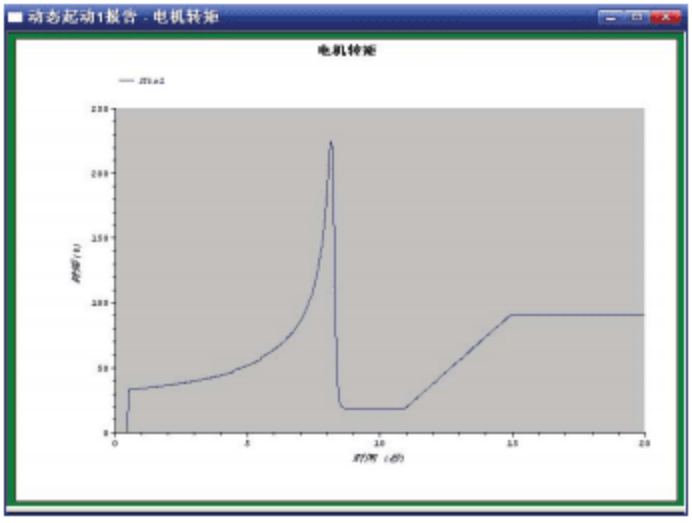


图 4-13 电动机 Mtr1 的转矩曲线

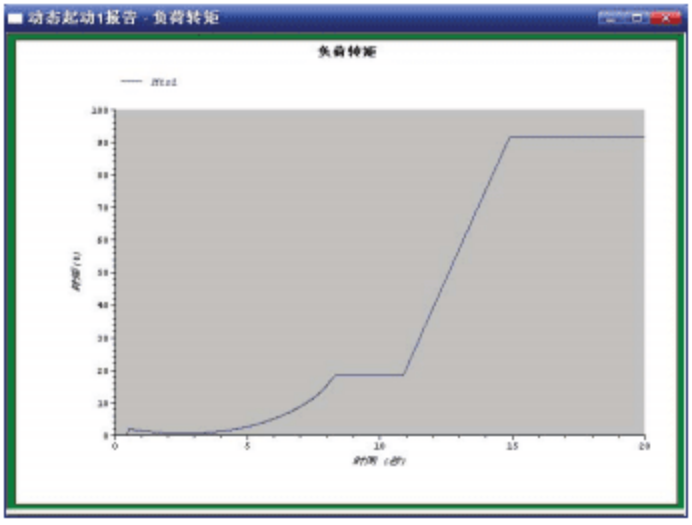


图 4-14 电动机 Mtr1 的负载转矩曲线

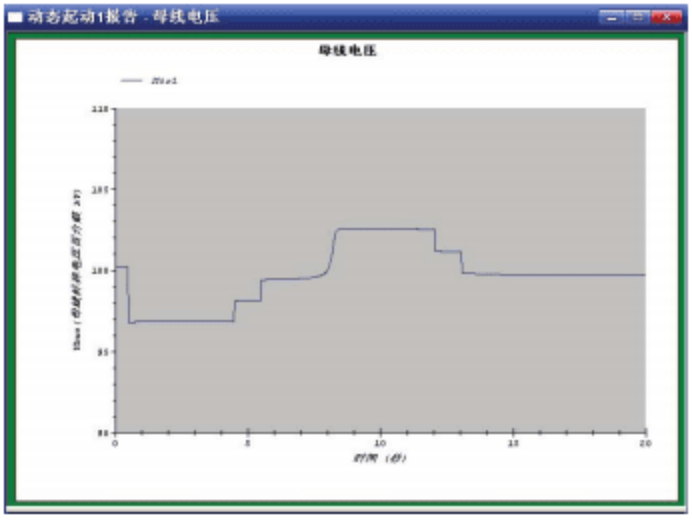
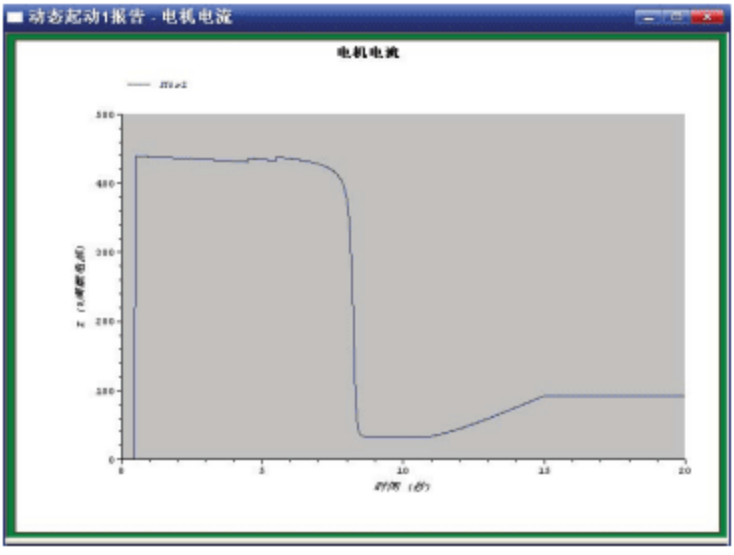


图 4-15 电动机 Mtr1 的母线电压曲线



4-16　电动机 Mtr1 的起动电流曲线

第三节 电动机成批动态起动分析

分析案例名称：动态起动 2，起动事件设置见表 4—3。

表 4-3　动态起动 2 的事件设置

事件名称	时间(s)	动作	起动负荷(电动机)名称	起动类型	额定功率	额定电压
事件 1	0.5	Start	Mtr1	Normal	2000kW	10kV
事件 2	2.0	Start	Mtr4, Mtr5, Mtr6	Normal	50kW, 75kW, 25kW	0.38kV
事件 3	4.0	Start	Mtr3	Normal	1000kW	10kV

报警窗口输出如图 4-17 所示。其它输出曲线在此省略。

电机起动 Analysis Alert View - Output Report: 动态起动2报告

分析案例: 动态起动2　　数据修订: Base
配置: Normal　　日期: 26-05-2007

临界

设备 ID	类型	告警	状态	额定/限制	单位	运行	运行百分数	开始时间	持续时间
Bus7	LV Bus	Bus Voltage	Under Voltage	0.4	kV	0.356	89	2	0.12
Gen1	Generator	Engine Rating	Over Rating	25	MW	25.001	100	0.5	14.48
Gen1	Generator	Engine Pea...	Over Rating	25	MW	25.001	100	0.5	14.48

边界

设备 ID	类型	告警	状态	额定/限制	单位	运行	运行百分数	开始时间	持续时间
Bus7	Motor Bus	Bus Voltage	Under Voltage	0.4	kV	0.356	89	2	0.12
Bus7	LV Bus	Bus Voltage	Under Voltage	0.4	kV	0.36	90.1	2.14	0.6
Gen1	Generator	Engine Rating	Over Rating	25	MW	25.327	101.3	14.98	0
Gen1	Generator	Engine Pea...	Over Rating	25	MW	25.327	101.3	14.98	0
Mtr3	Motor	Motor Voltage	Under Voltage	11	kV	9.831	89.4	4	3.98

图 4-17 报警窗口输出图

第五章 暂态稳定分析

第一节 增添暂态稳定分析需要的数据

1、双击同步发电机 Gen1，打开编辑器—阻抗/模型页—动态模型，选定次暂态模型。

图 5-1 同步发电机编辑器——阻抗/模型属性页

2、打开“惯量”属性页—惯量计算器，填入原动机 H=1.5，联轴器 H=0.2，发电机 H=1.5。

图 5-2 同步发电机编辑器——惯量属性页

第二节 暂态分析案例

点击“模式工具栏”中的“暂态稳定分析”按钮，切换到暂态稳定案例分析模式。

一、分析案例 1

1、分析案例新建暂态稳定分析案例，名称：分析案例 1：点击“分析案例”工具栏的“新的分析案例”按钮，在“复制分析案例”对话框中指定分析案例的名称为“分析案例 1”，如图 5-3 所示。

图 5-3 复制“新的分析案例”对话框

2、打开“暂态分析案例”编辑器的“事件”属性页，编辑分析案例 1 的事件，事件设置如下表 5-1。

表 5—1 分析案例 1 的事件设置

事　件	时间（S）	元件	动作/故障
事件 1	0. 5	Bus1	3 相故障
事件 2	0. 7	Bus1	清除故障

3、点击分析工具栏的“运行暂态稳定”按钮，完成暂态稳定分析。

4、点击分析工具栏的“暂态稳定画图”按钮，查看暂态稳定的相关图形。其中 Gen1 的波形分别如图 5-4、5-6 和 5-6 所示，感应电动机 Mtr1 的特性曲线如图 5-7、5-8 所示。

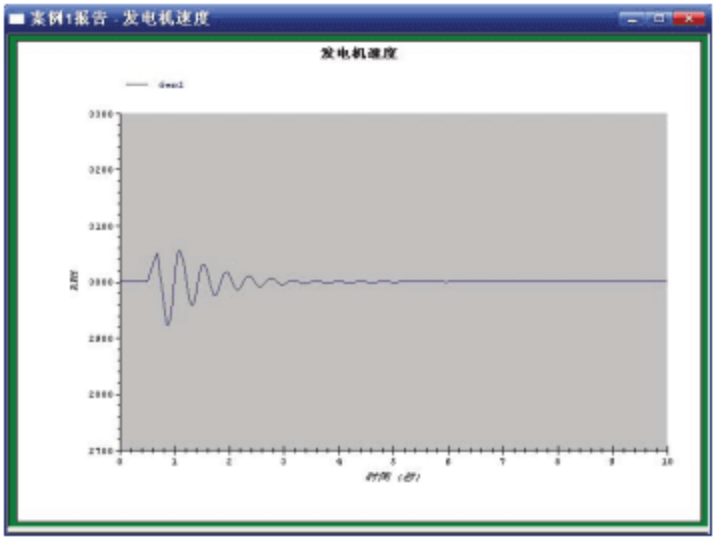


图 5-4 发电机 Gen1 的转速曲线

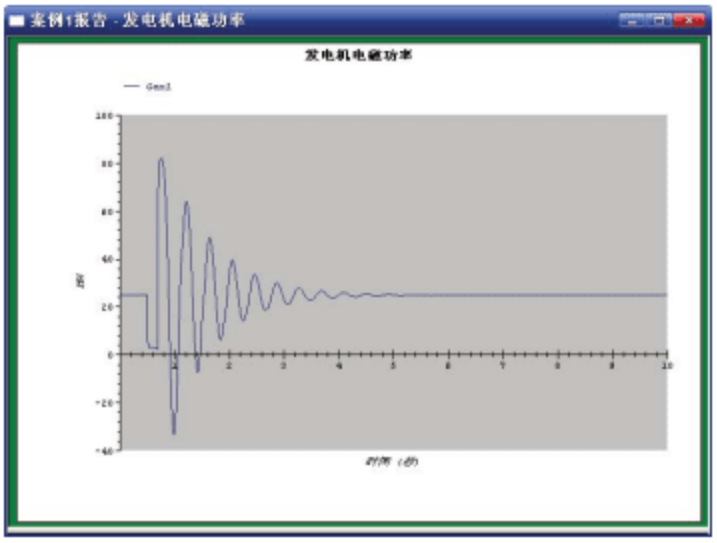


图 5-5 发电机 Gen1 的电磁功率曲线

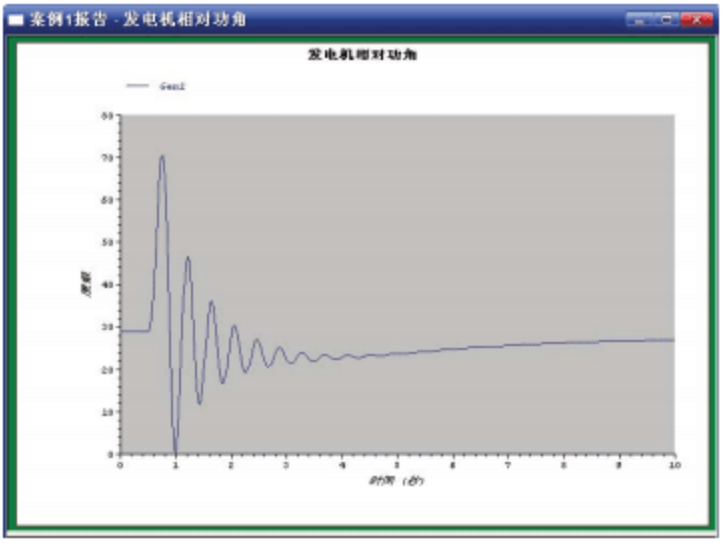


图 5-6 发电机 Gen1 的功角曲线

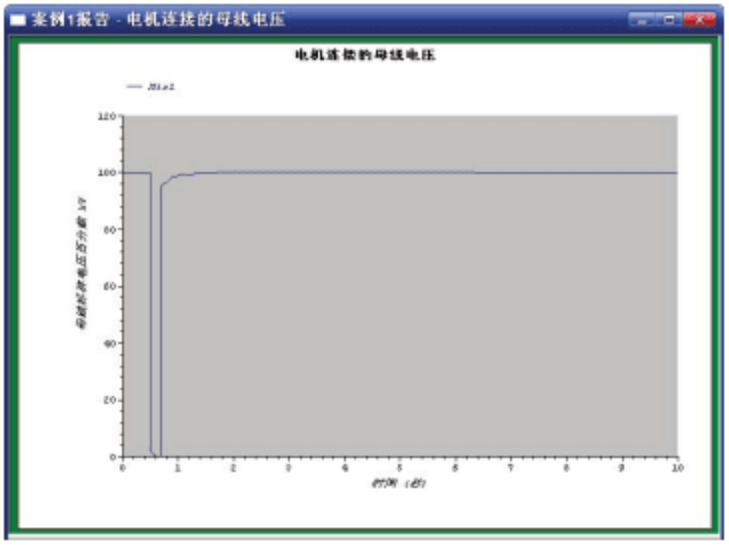


图 5-7 电动机 Mtr1 连接母线电压

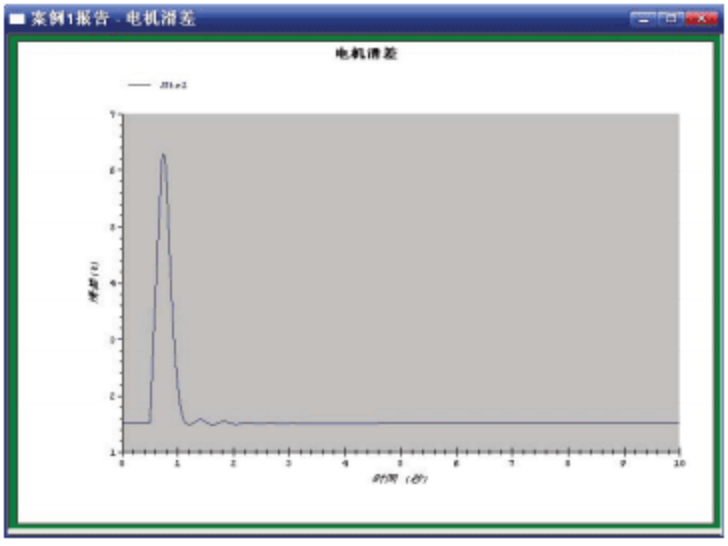


图 5-8 电动机 Mtr1 的滑差

二、分析案例 2

1、分析案例新建暂态稳定分析案例，名称：分析案例 2

2、编辑分析案例 2 的事件，具体设置见表 5-2。

表 5—2 分析案例 2 的事件设置

事件	时间（S）	设备类型	设备 ID	动作/故障	动作设置
事件 1	0.50	母线	Bus1	3 相故障	分析案例编辑器
事件 2	0.60	断路器	CB1、CB7	打开	分析案例编辑器
事件 3	0.65	发电机 断路器 等效负荷	Gen1 Tie CB Lump3	无差调节 关闭 删除	分析案例编辑器
Freq. Relay	6.423	断路器	CB4	打开	Freq. Relay

3、点击分析工具栏的“运行暂态稳定”按钮，完成暂态稳定分析。

4、查看暂态稳定的相关图形。其中，Gen1 有关变量的变化曲线见图 5-9 至 5-12，感应电动机 Mtr1 的特性曲线如下图 5-13 至 5-14。

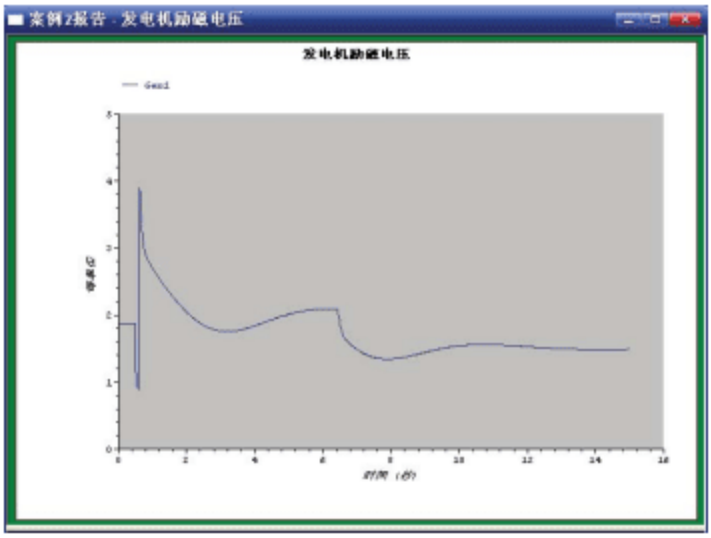


图 5-9 发电机 Gen1 的励磁电压

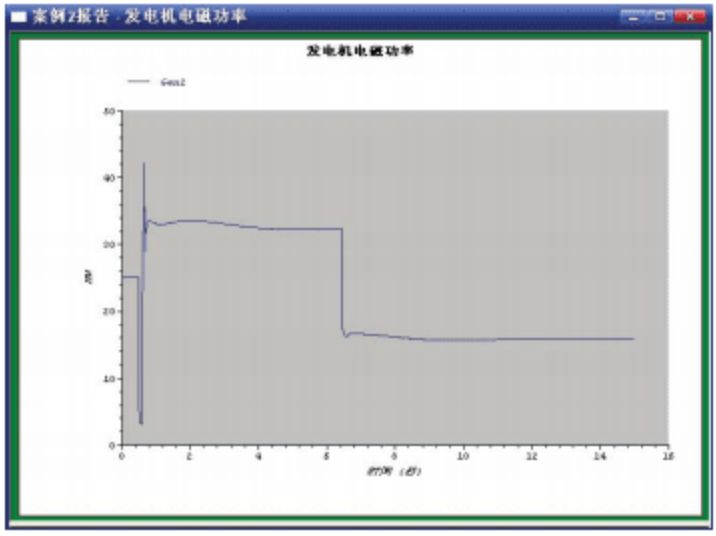


图 5-10 发电机 Gen1 的电磁功率

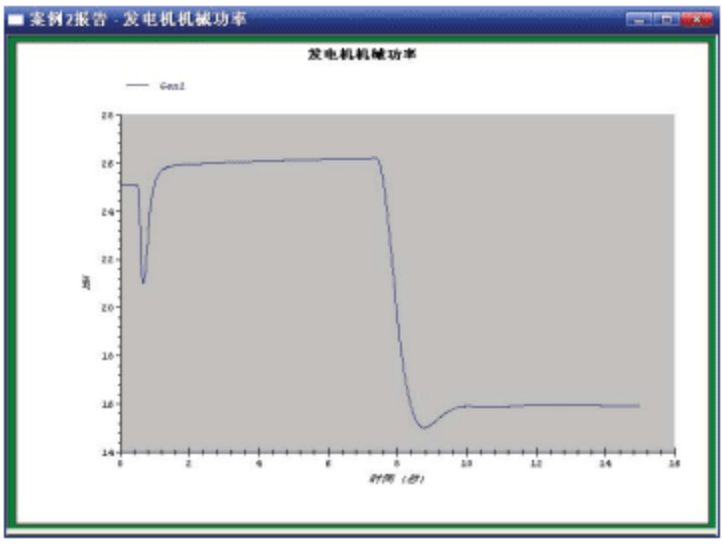


图 5-11 发电机 Gen1 的机械功率

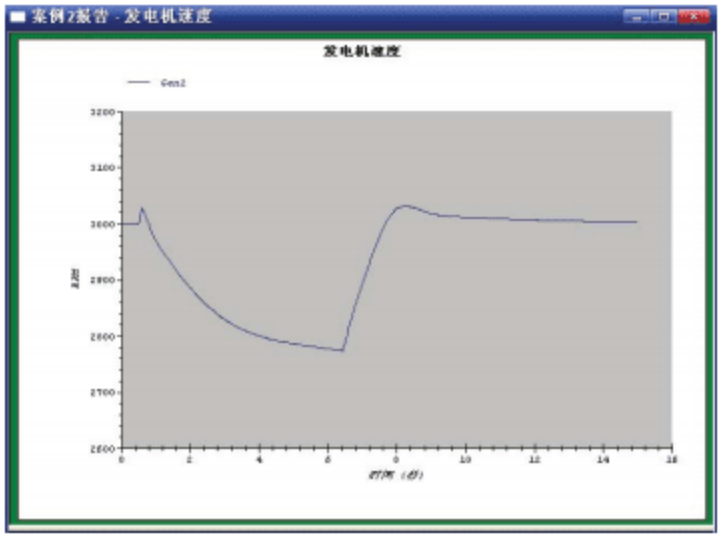


图 5-12 发电机 Gen1 的转速

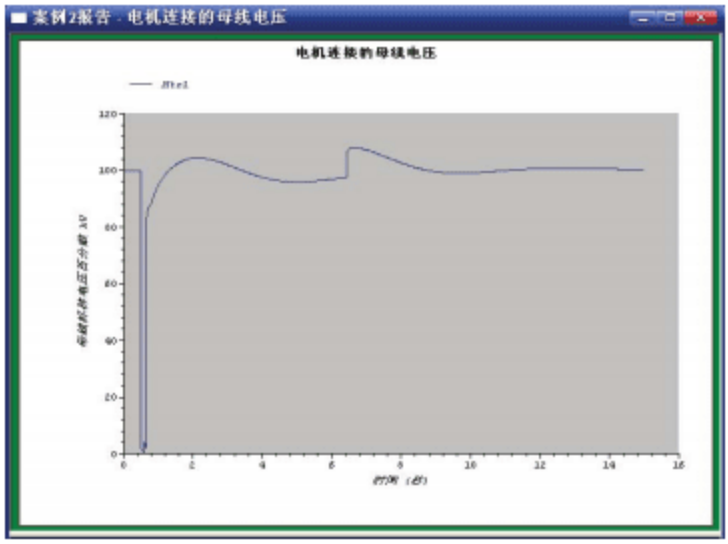


图 5-13 电动机 Mtr1 连接母线的电压

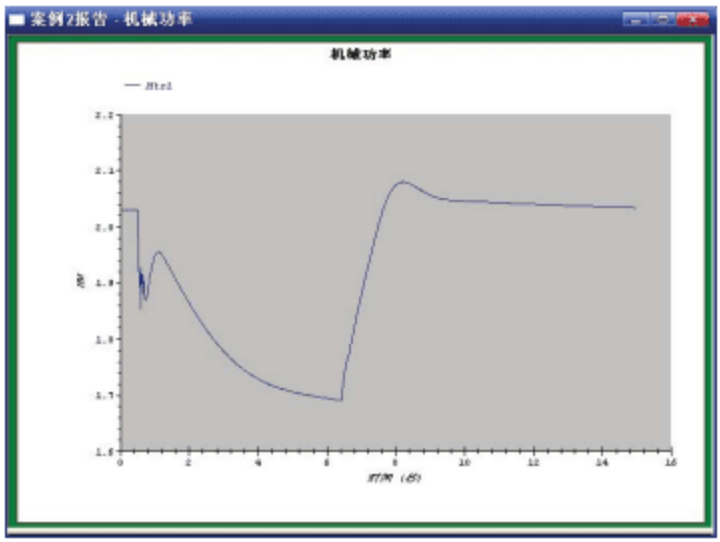


图 5-14 电动机 Mtr1 的机械功率

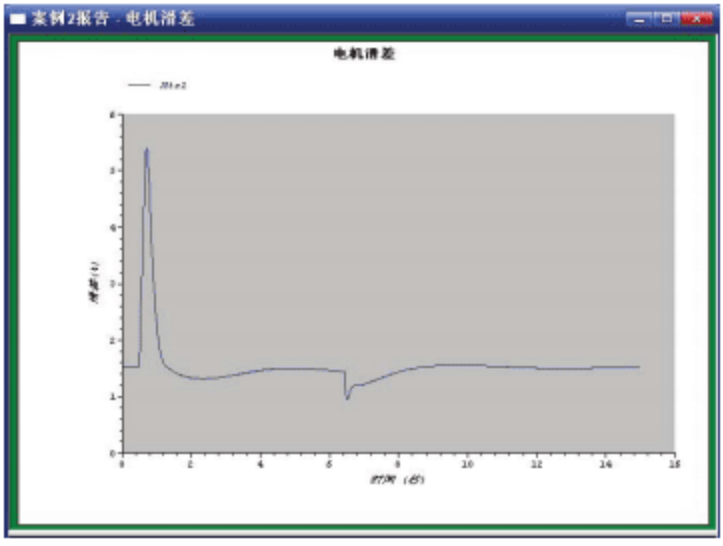


图 5-15 电动机 Mtr1 的滑差

三、分析案例 3

电缆故障—两侧断路器打开—负荷转移（母线 Bus6 的负荷转移到备用电源母线 Bus5 上）

1、分析案例新建暂态稳定分析案例，名称：分析案例 3

2、编辑分析案例 3 的事件，具体设置见表 5-3。

表 5-3 分析案例 3 的事件设置

事件	时间（S）	设备类型	设备名称	动作/故障	设置 1	动作设置
事件 1	0.50	电缆	Cable1	故障	50%	分析案例编辑器
事件 2	0.60	断路器	CB9、CB11	打开		分析案例编辑器
事件 3	0.70	断路器	CB12	关闭		分析案例编辑器

3、点击分析工具栏的“运行暂态稳定”按钮，完成暂态稳定分析。

4、查看暂态稳定的相关图形。其中，母线 Bus5 的频率曲线如图 5-16 所示；母线 Bus5 的电压如图 5-17 所示，由此可以看出：由于母线 Bus6 的负荷转移过来，母线 Bus5 的电压出现跌落，受到影响，但是最终母线 Bus5 的电压稳定在母线标称电压附近；如图 5-18、5-19 所示，由于母线 Bus6 的负荷转移过来，电缆 Cable5 输出的视在功率（MVA）和电流（A）都受到冲击，最终稳定在一个较高的水平（包含母线 Bus5 本身的负荷以及母线 Bus6 转移过来的负荷）。

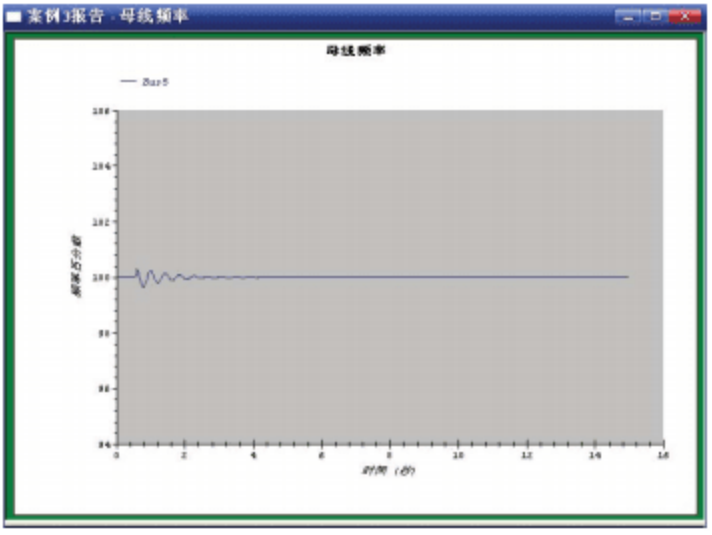


图 5-16 母线 Bus5 的频率

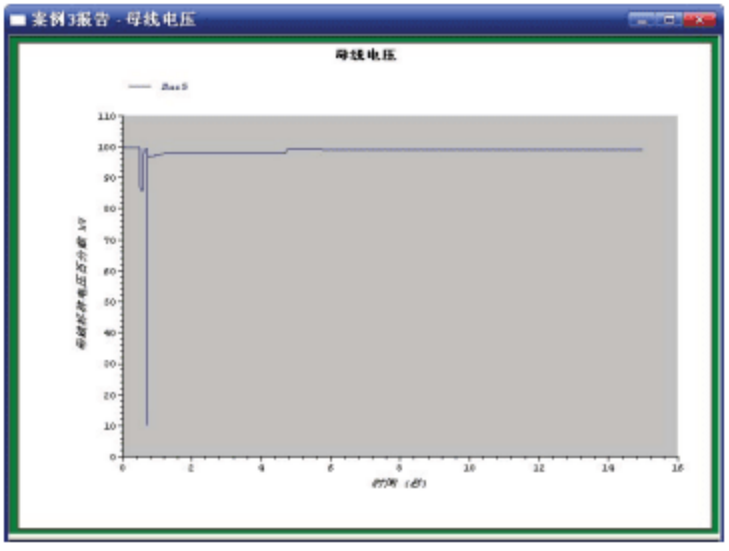


图 5-17 母线 Bus5 的电压

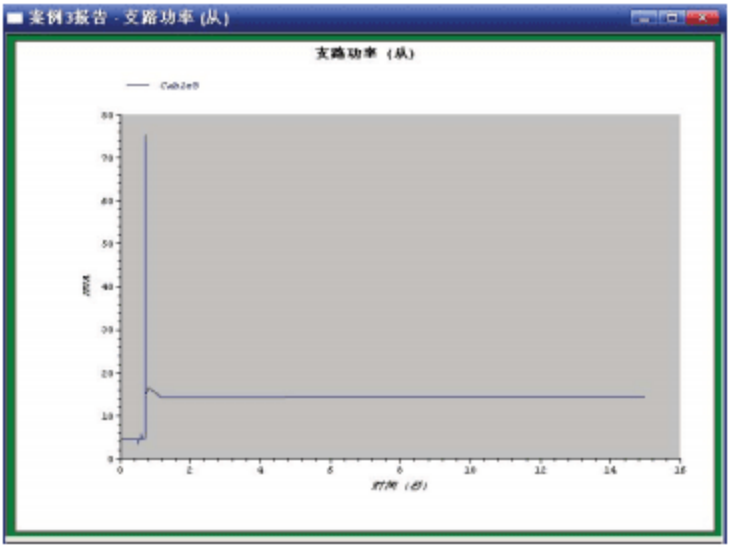


图 5-18 电缆 Cable5 输出的视在功率（MVA）

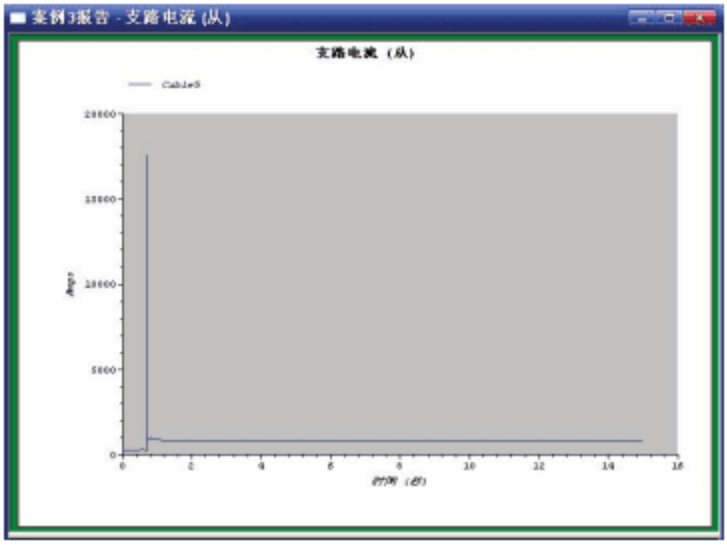


图 5-19 电缆 Cable5 输出的电流（A）

第六章 继电保护配合

数据版本是 Base，系统配置是 Normal，单线图名称是 Relay Study。

第一节 添加保护配合需要的数据

继电器选型、保护配置及 CT 变比见表 6-1。低压断路器及其脱扣器选型见表 6-2。

表 6-1 继电器选型、保护配置及 CT 变比

继电器名称	继电器型号	开关设备名称	保护配置	CT 变比
Relay1	Siemens-7SJ55	T1 高压侧断路器	相线（瞬时、过流）	400:1
Relay2	Siemens-7SJ62	T1 低压侧断路器	相线（瞬时、过流） 接地（瞬时、过流）	4000:1
Relay3	Siemens-7SJ62	Cable1 电源侧断路器	相线（瞬时、过流）	300:1
Relay4	Siemens-7SJ62	分段断路器	相线（瞬时、过流）	4000:1
Relay5	Siemens-7UT613	Gen1 断路器	相线（瞬时、过流） 接地（瞬时，过流） 负序（瞬时、过流）	2000:1
Relay6	Siemens-7SJ602	Mtr1 断路器	相线（瞬时、过流） 负序（瞬时、过流） 过负荷保护	200:1
Relay7	Siemens-7SJ55	T2 高压侧断路器	相线（瞬时、过流）	50:1

表 6-2 低压断路器及其脱扣器选型

低压断路器名称	脱扣器型号	保护配置
CB17	Siemens 热磁 3VF3-100A(Adj.)	热脱扣、电磁脱扣

应用 ETAP 软件的保护设备配合模块，根据时间和电流配合的原则，图形化调整保护曲线使之满足保护配合要求。电气工程师在继电保护配合方面的经验和学识，将被充分地、高效地发挥出来。电动机 Mtr1 回路、继电器 Relay2、Relay4 和 Relay3 之间的配合、发动机 Gen1 和电动机 Mtr2 回路的保护配合时间电流曲线(TCC)分别如图 6-1、6-2、6-3 和 6-4 所示，保护定值也标注在图上。

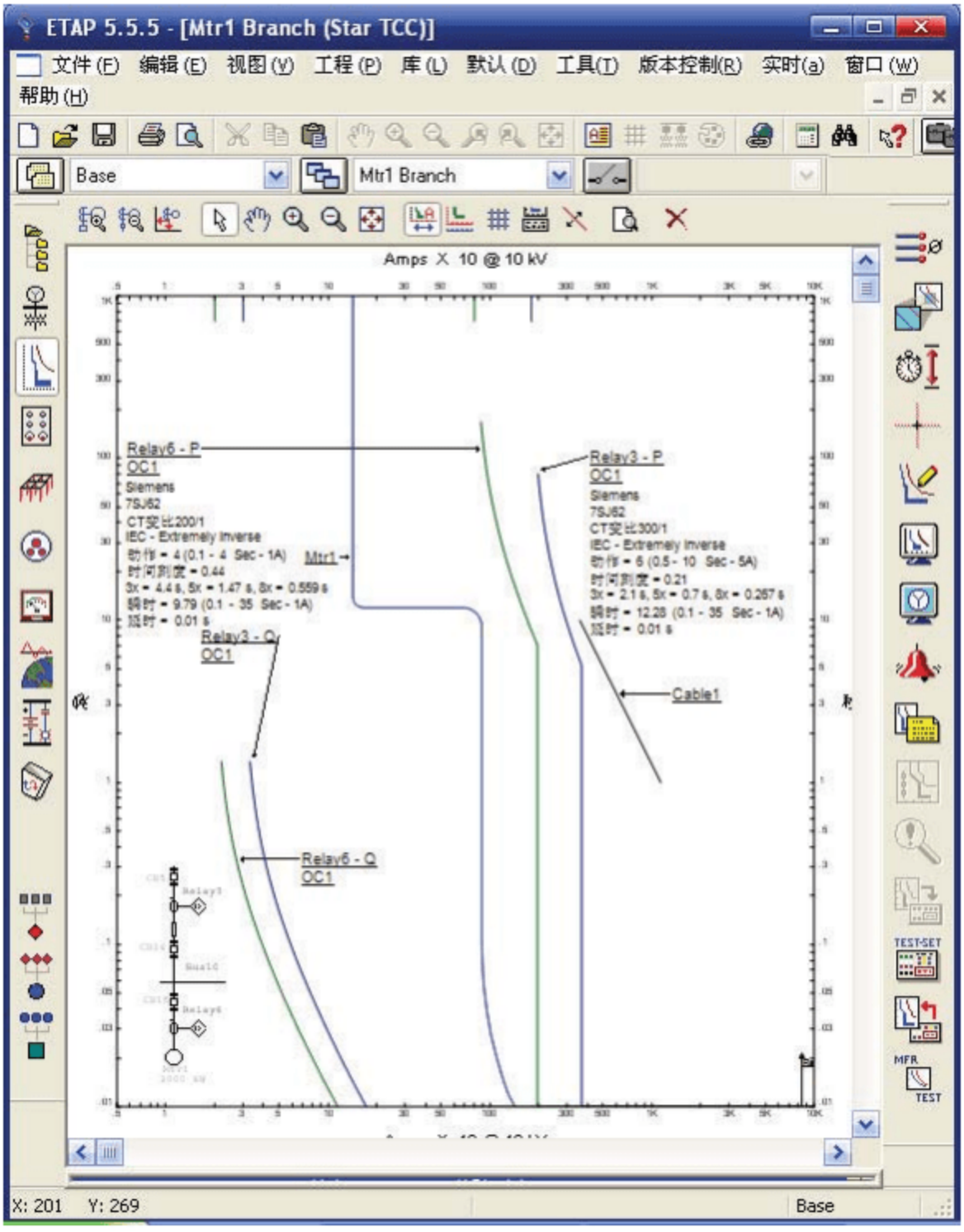


图 6-1 电动机 Mtr1 及其回路保护配合的时间电流曲线(TCC)

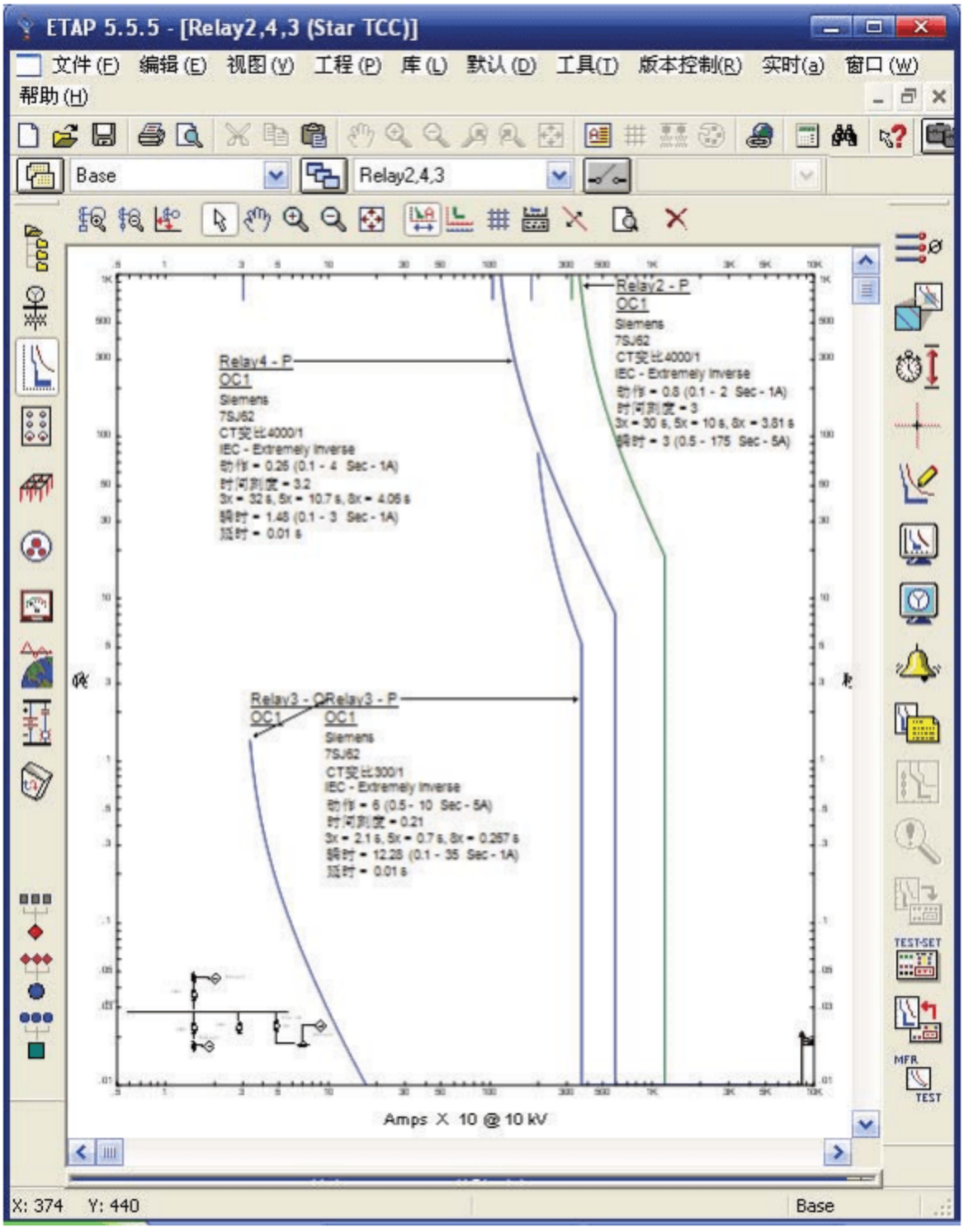


图 6-2 继电器 Relay2, 4, 3 之间保护配合的时间电流曲线(TCC)

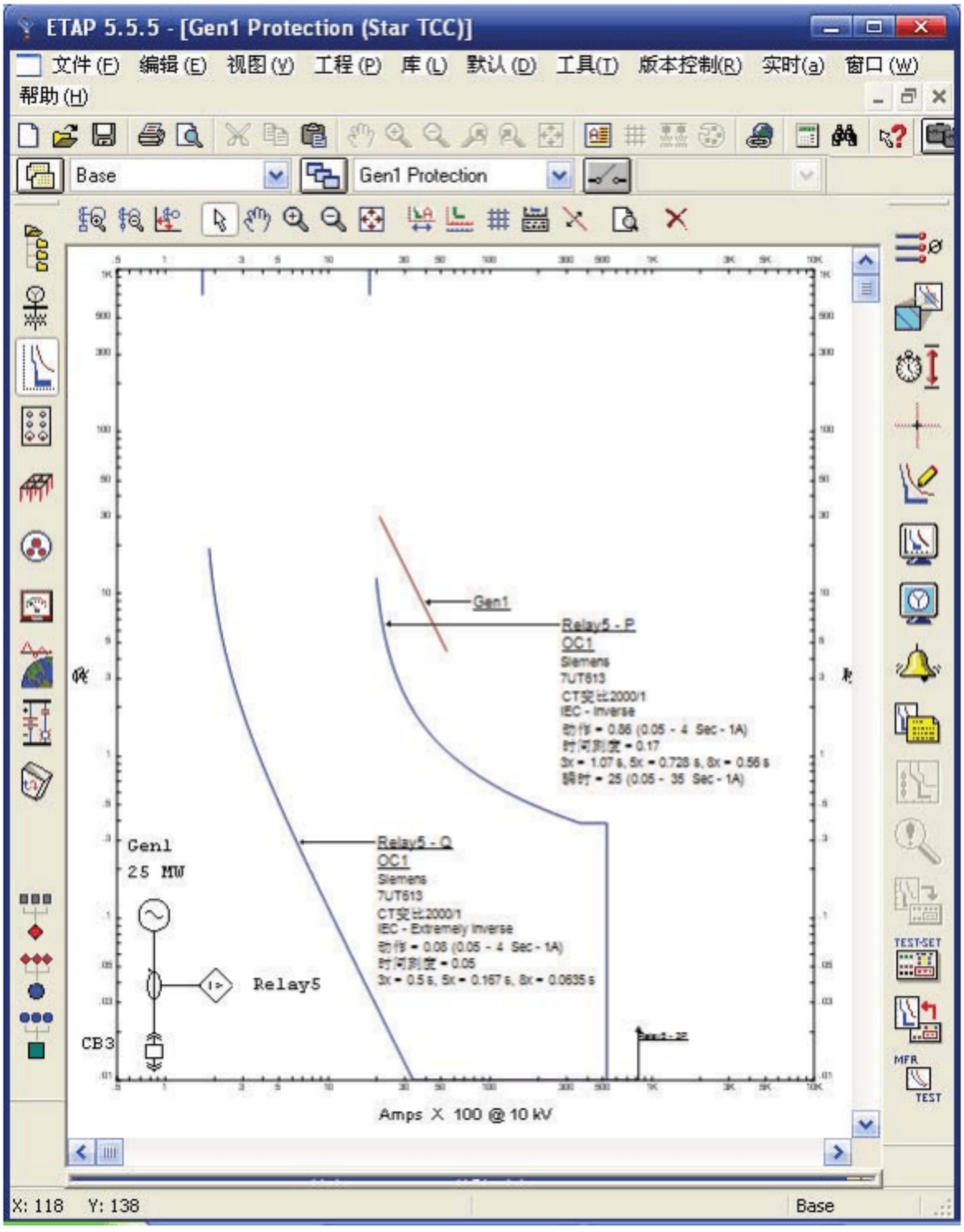


图 6-3 发电机 Gen1 回路保护配合的时间电流曲线(TCC)

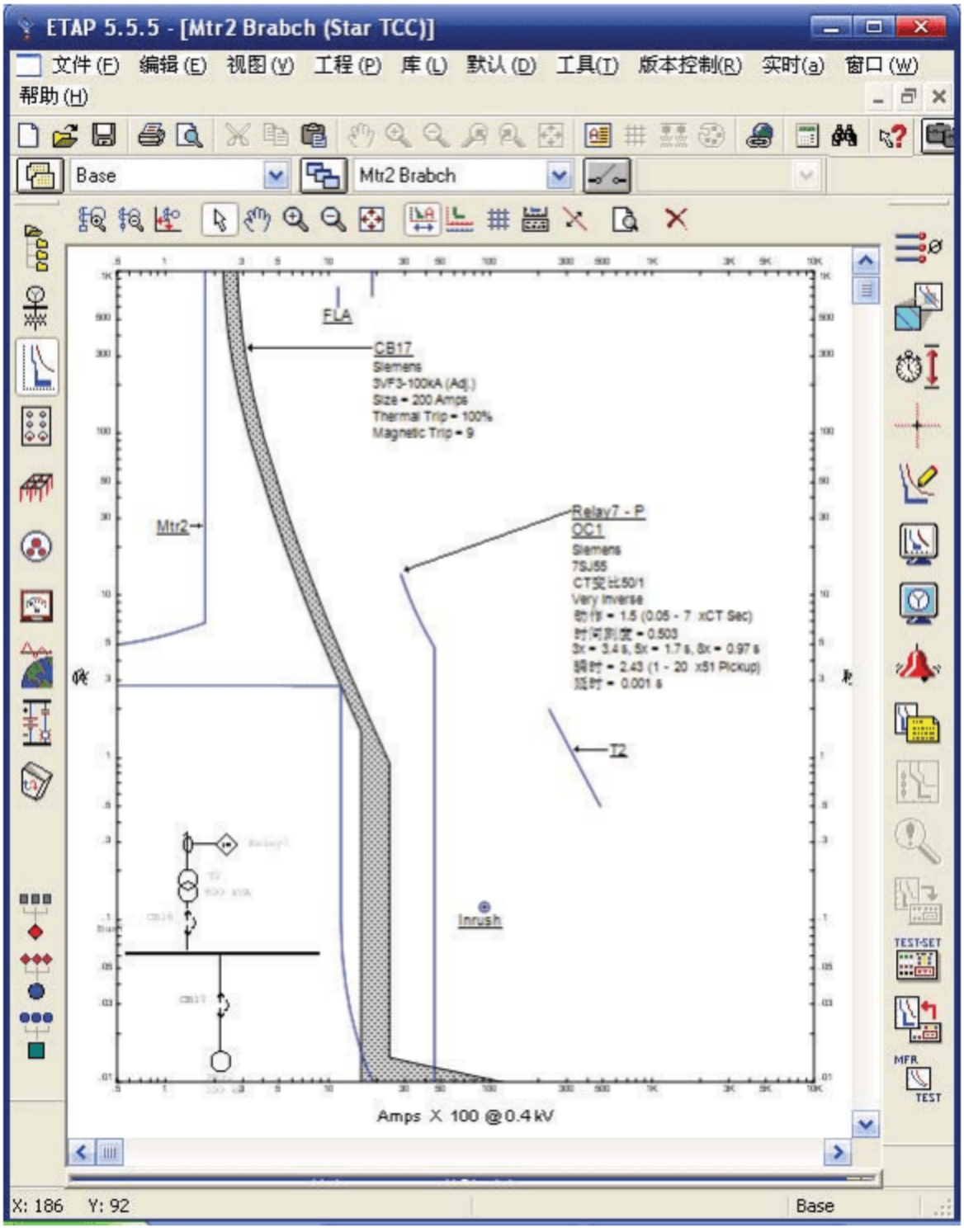


图 6-4 电动机 Mtr2 及其回路保会配合的时间电流曲线(TCC)

第二节 案例分析

1、点击“模式工具栏”中的“保护设备继电器配合按钮”，切换到保护设备继电器配合按钮案例分析模式。此时，右侧的工具栏转换为“保护设备继电器配合工具栏”。

2、假设 Bus2 三相短路：单击“案例分析工具栏”中的“编辑分析案例按钮”，打开“保护配合分析案例”编辑器，在“保护配合分析案例”编辑器—“动作序列”属性页—“故障类型”项”中选中“三相短路”，点击“确定”；单击右侧工具栏中的按钮，鼠标指针变为，移动鼠标指针到母线 2 上，当成图 6-5 所示的情况时单击鼠标即可。ETAP 软件自动运行短路分析程序并模拟继电保护设备的动作，并显示结果如图 6-5 所示。

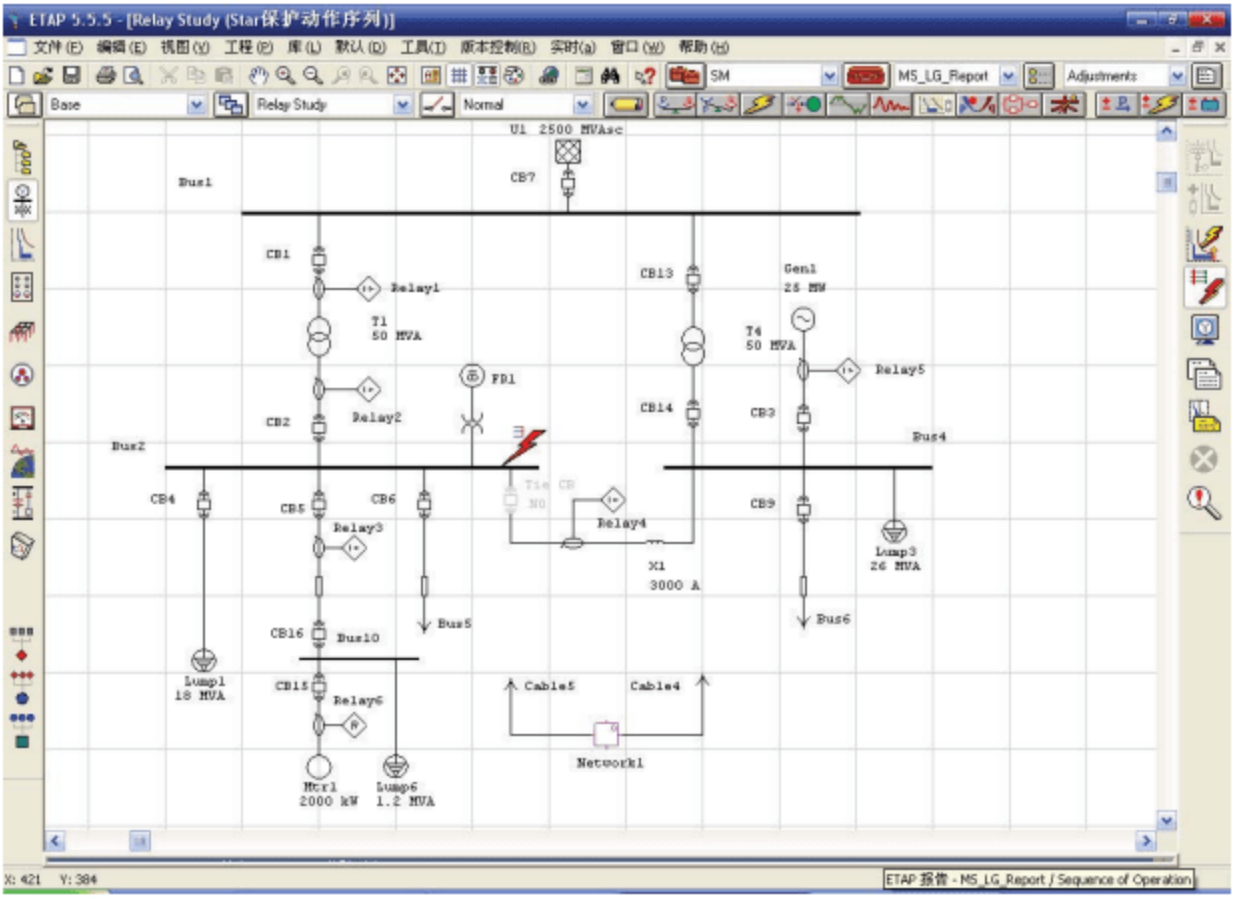


图 6-5 继电保护配合分析中的短路操作示意图

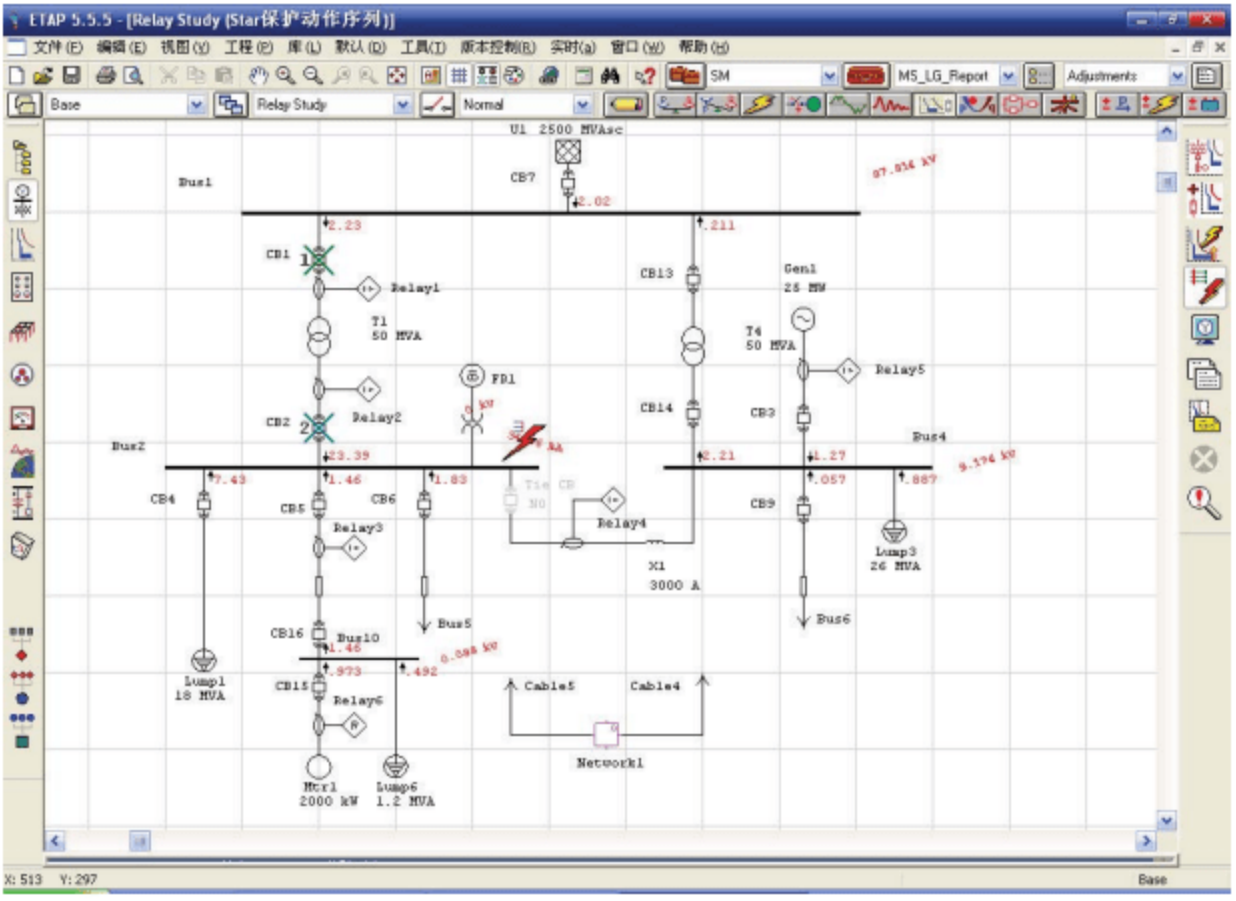
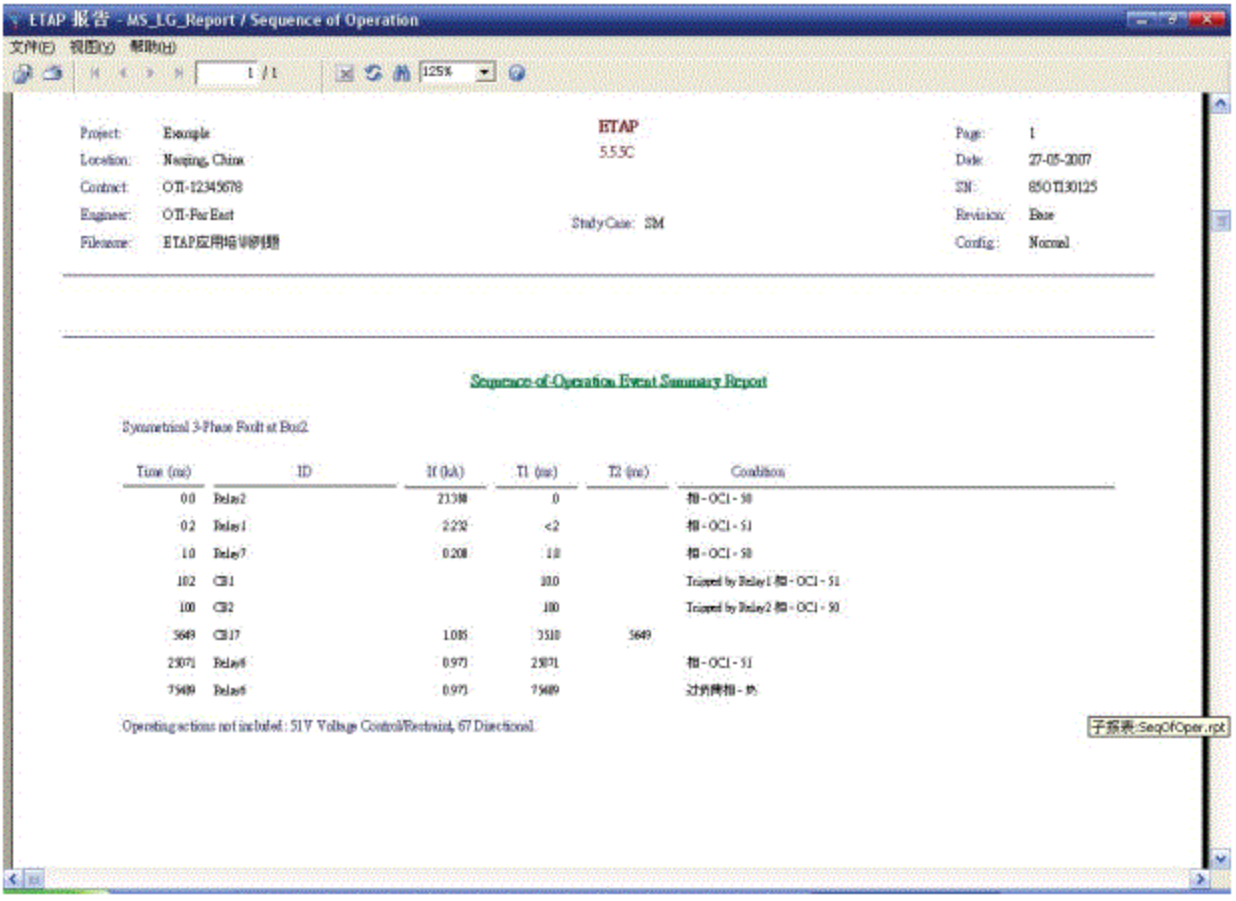


图 6-5 带有故障电流、电压和保护动作等数据显示的单线图

4、此时打开动作序列（Sequence of Operation）报告就可以查看继电器动作顺序表，如图 6-7 所示。可见继电器动作顺序是符合继电保护选择性要求的。



ETAP 报告 - MS_LG_Report / Sequence of Operation

文件(F) 视图(V) 帮助(H)

1 / 1 125%

Project: Example
Location: Nanjing, China
Contract: OTI-12345678
Engineer: OTI-Far East
Filename: ETAP应用培训教程

ETAP
5.5.5C

Study Case: SM

Page: 1
Date: 27-05-2007
SN: 85OTI30125
Revision: Base
Config: Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus2.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0.0	Relay2	21.398	0		相 - OC1 - 50
0.2	Relay1	2.232	<2		相 - OC1 - 51
1.0	Relay7	0.208	1.0		相 - OC1 - 50
102	CB1		100		Tripped by Relay1 相 - OC1 - 51
100	CB2		100		Tripped by Relay2 相 - OC1 - 50
5649	CB17	1.085	5510	5649	
25071	Relay6	0.973	25071		相 - OC1 - 51
75489	Relay6	0.973	75489		过载警报 - 热

Operating actions not included: 51V Voltage Control/Restraint, 67 Directional.

子报表:SeqOfOper.rpt

图 6-7　继电器动作顺序报告

第七章 谐波分析

数据版本是 Base，系统配置是 Normal，谐波分析案例名称是谐波分析 1，输出报告名称是谐波分析 1 报告 。

第一节 给静态负荷 Load1 添加谐波电流源数据

在本例题中，静态负荷 Load1（非线性负载）向系统送入谐波电流。在静态负荷 Load 1 的谐波属性页添加谐波源：类型是电流源、厂商是 ABB、模型是 DCS500 6P。静态负荷 Load1 编辑器的谐波属性页如图 7-1 所示。

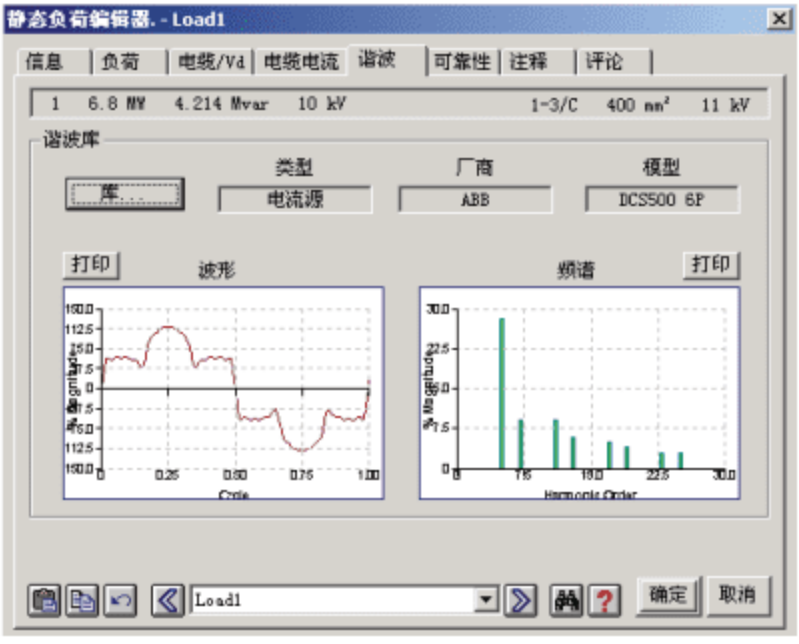


图 7-1 静态负荷 Load1 编辑器的谐波属性页

第二节 在设置谐波源后，对系统进行谐波分析

点击分析工具栏的“启动谐波潮流计算”按钮。通过移动谐波次数滑条，获得流过 Cable4 的各次谐波电流及其畸变度 THD 见表 7-1，母线 Bus6 总的谐波电压畸变度（THD%）以及单个谐波电压畸变度见表 7-2。

表 7-1 滤波器投入前，流过 Cable4 的各次谐波电流及其畸变度 THD

次数	1	5	7	11	13	17	19	23	25
电流(A)	568.36	133.3	42.9	42.8	28.6	23.8	19.1	14.3	14.7
IHD(%)	100	23.46	7.54	7.54	5.03	4.19	3.36	2.52	2.52

表 7-2 母线 Bus6 总的谐波电压畸变度（THD%）以及单个谐波电压畸变度

次数	Total	5	7	11	13	17	19	23	25
畸变度(%)	3.73	2.2	0.97	1.44	1.1	1.12	0.96	0.81	0.85

在执行谐波潮流分析后，单击右侧工具栏上的“谐波分析画图”按钮，可以查看谐波波形和频谱图。母线 Bus6 的谐波电压频谱图如图 7-2 所示，电压波形图如图 7-3 所示。

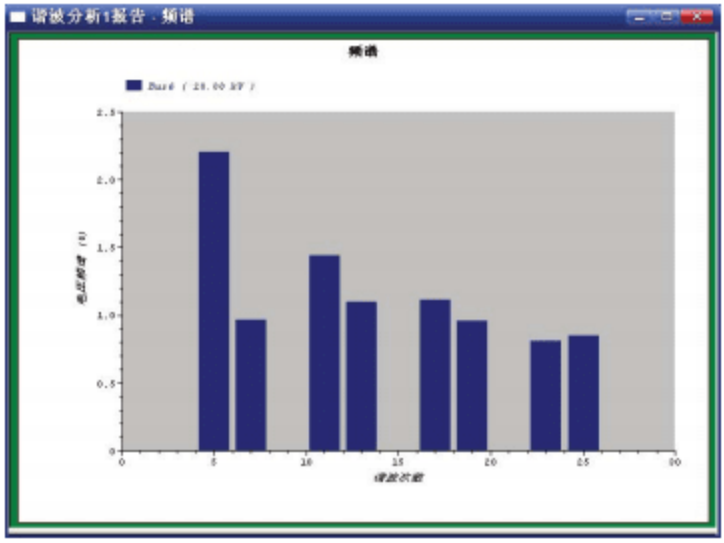


图 7-2 母线 Bus6 的谐波电压频谱图

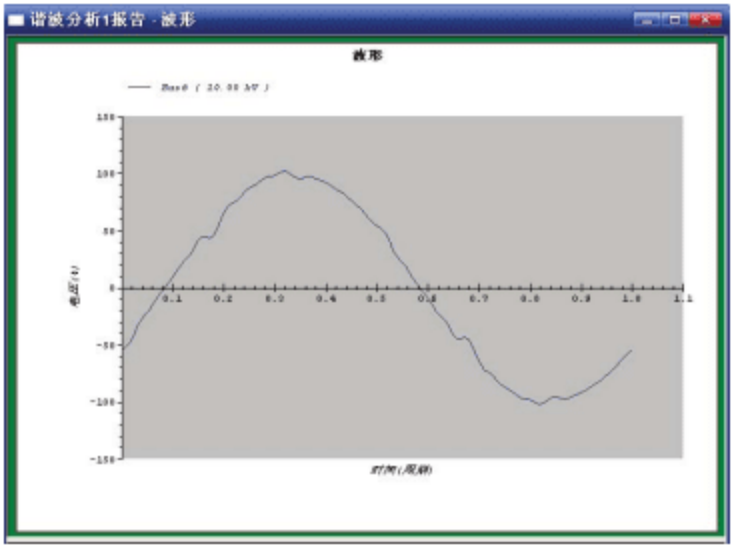


图 7-3 母线 Bus6 的电压波形图

第三节 滤波器设计

在滤波器未投入时，切换潮流分析模块，运行潮流分析，得到母线 Bus4 流入电缆 Cable4 的视在功率是 9.9MVA，功率因数（PF）是 85.1%。

1、设计 5 次滤波器

在单线图上添加滤波器，连接到母线 Bus6。双击元件，打开滤波器编辑器，点击“参

数”属性页，滤波器类型包括：(1)旁通、(2)高通(带阻尼)、(3)高通(不带阻尼)、(4)单调谐、(5)3 次阻尼、(6)3 次 C 型。

如图 7-4 所示，选定滤波器类型为“单调谐”，输入滤波器额定电压＝10kV，最大电压＝13.86kV，品质因数 Q＝30，最大电流＝200A。点击“滤波器容量估计”按钮，滤波器容量估计编辑器如图 7-5 所示，输入谐波次数（Harmonic Order）=5，谐波电流＝133.3A，现有功率因数＝85.1%，期望功率因数＝90%，负荷容量＝9.9MVA。

点击“滤波器估计”按钮，获得一组结果：1 相＝1119kvar，Vc=17.653kV（ASUM），XL=3.58 欧/相，IL=174 安培(RMS)。

单击“替换”按钮，软件自动将获得的结果数据填写到滤波器的参数属性页，如图 7-6 所示。

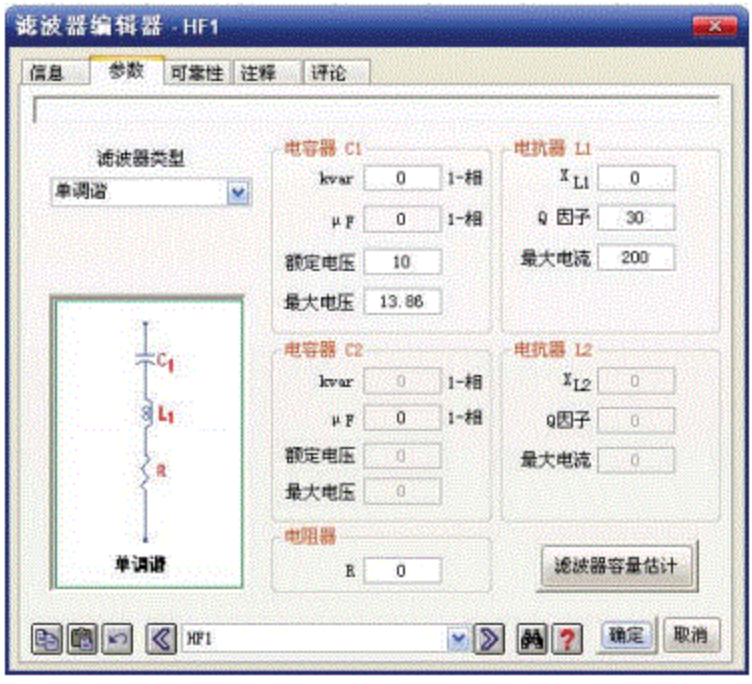


图 7-4 滤波器编辑器的参数属性页

图 7-5 滤波器容量估计编辑器

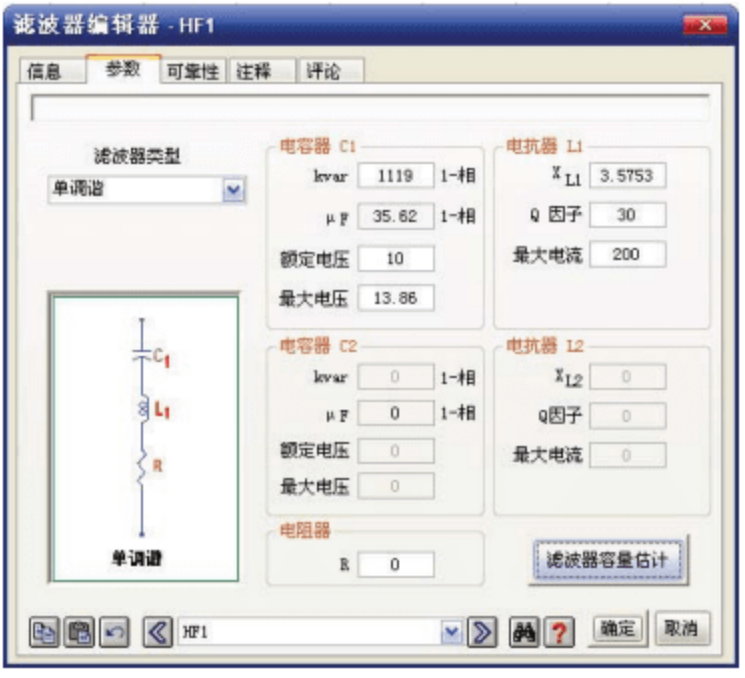


图 7-6 具有完整数据的滤波器编辑器的参数属性页

在 5 次滤波器投入之后，切换到潮流分析模块，运行潮流分析，得到母线 Bus4 流入电缆 Cable4 的视在功率是 9.2MVA，功率因数（PF）是 90.2%。

在 5 次滤波器投入之后，切换到谐波分析模块，运行谐波潮流分析，得到母线 Bus6 的电压波形频谱图如图 7-7 所示。

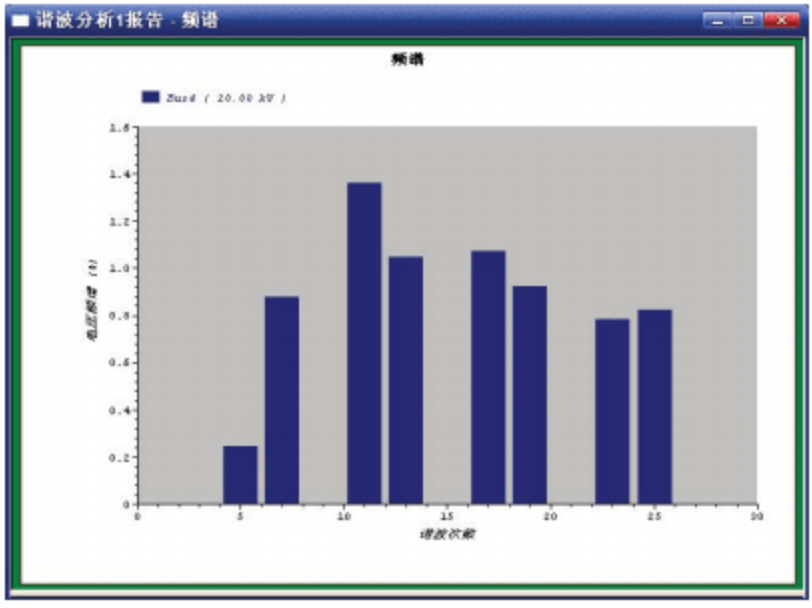


图 7-7 投入 5 次滤波器之后，母线 Bus6 的电压波形频谱图

2、设计 7 次和 11 次滤波器

根据 5 次滤波器的设计方法，获得 7 次和 11 次滤波器参数分别如图 7-8 和 7-9 所示。

图 7-8 7 次滤波器编辑器的参数属性页

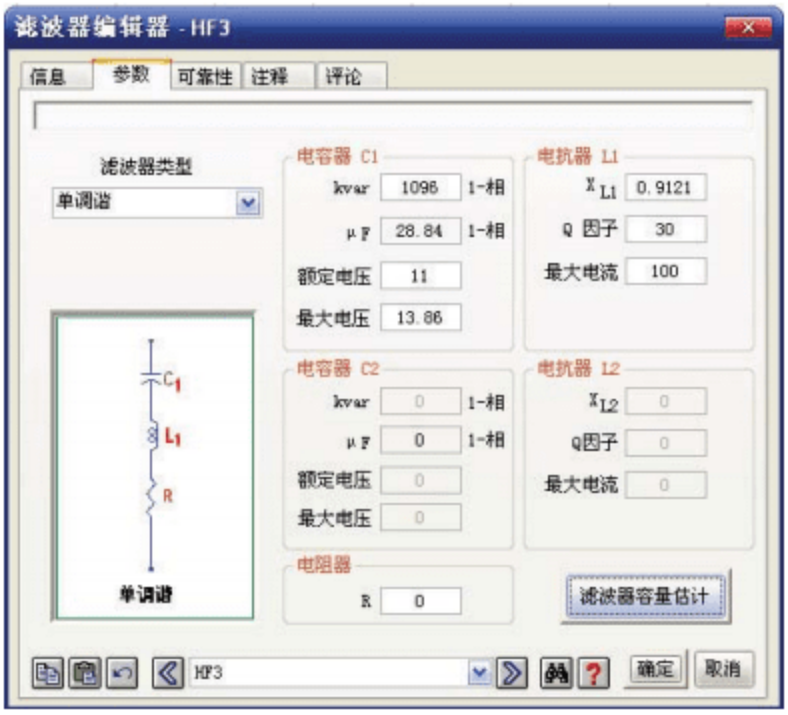


图 7-9 11 次滤波器编辑器的参数属性页

第四节 在投入滤波器之后的谐波分析

投入 5、7 和 11 次滤波器后运行谐波分析，母线 Bus6 的各次谐波频谱图如图 7-10 所示，母线 Bus6 的电压波形图如图 7-11 所示。

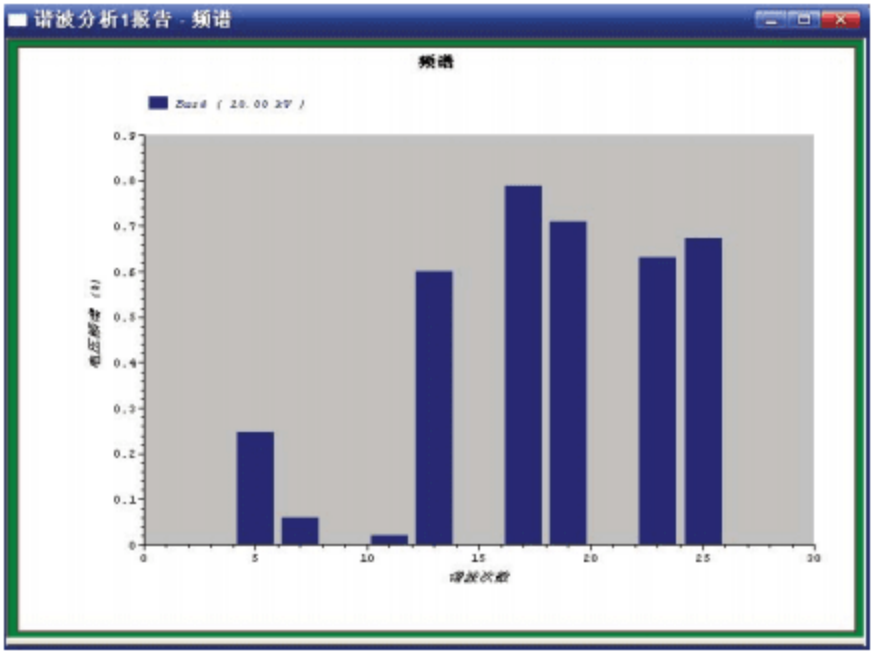


图 7-10 母线 Bus6 的各次谐波频谱图

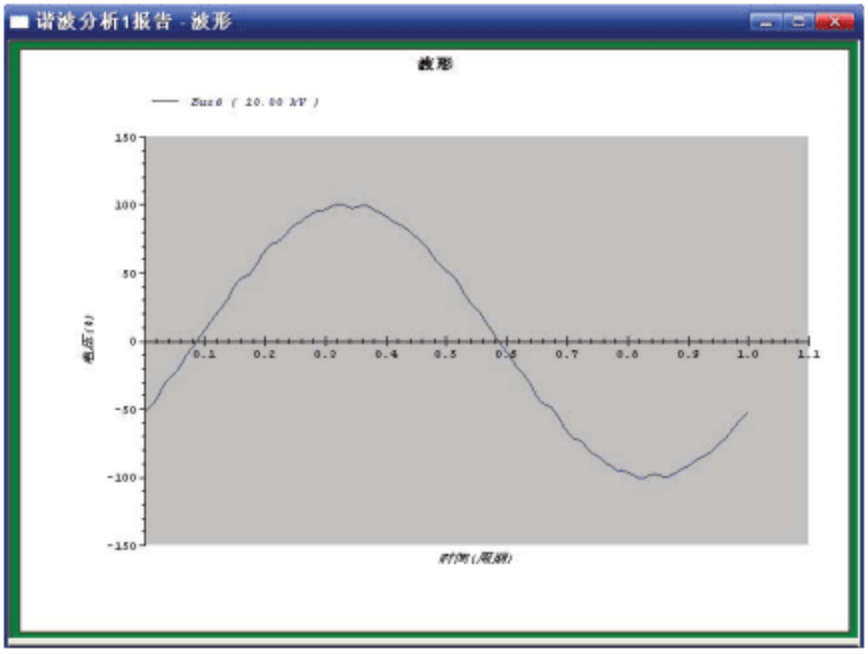


图 7-11 母线 Bus6 的电压波形图

母线 Bus6 电压的各次谐波含量下降 0.8%以下，电压波形也得到较大改善。滤波器投运前后，Bus6 总的谐波电压畸变度（THD%）以及单个谐波电压畸变度对照表见表 7-3。

表 7-3 滤波器投入前后母线 Bus6 的各次谐波电压的畸变度 THD

次数	Total	5	7	11	13	17	19	23	25
畸变度(%)(滤波器投运前)	25.75	23	8	8	5	4	3	3	3
畸变度(%)(滤波器投运后)	6.58	3	2.5	0.6	3	3	3	2	2

第五节 频率扫描

运用频率扫描，检查系统有无频率共振现象。点击“启动频率扫描”按钮进行检查，报警窗口如图 7-12 所示。

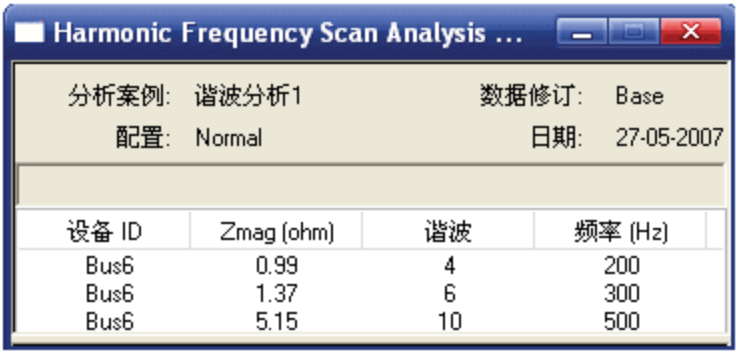


图 7-12 滤波器投运之后，频率扫描报警窗口

第八章 接地网系统

良好的接地网系统确保了电力装置内部或周围人身安全。因此，接地网系统的设计也是一项重要的工作。ETAP 软件能够协助您完成接地网系统的设计工作，并能给出更低成本的设计方案。它为您提供了图形化的设计环境、接地分析功能和接地网优化功能。ETAP 软件接地网系统采用了四种标准：有限元算法（FEM）、IEEE 80-1986、IEEE 80-2000、IEEE 665-1995。

本算例选用 IEEE 86-2000 接地网设计标准。

第一节 接地网系统的设计

1、双击单线图上的“接地网”元件，打开“ETAP 接地网设计”编辑器，选择 IEEE 方法，如图 8—1 所示；点击“确定”按钮，打开“地下接地网系统”显示图。

图 8—1 接地网设计编辑器

2、“地下接地网系统”显示图

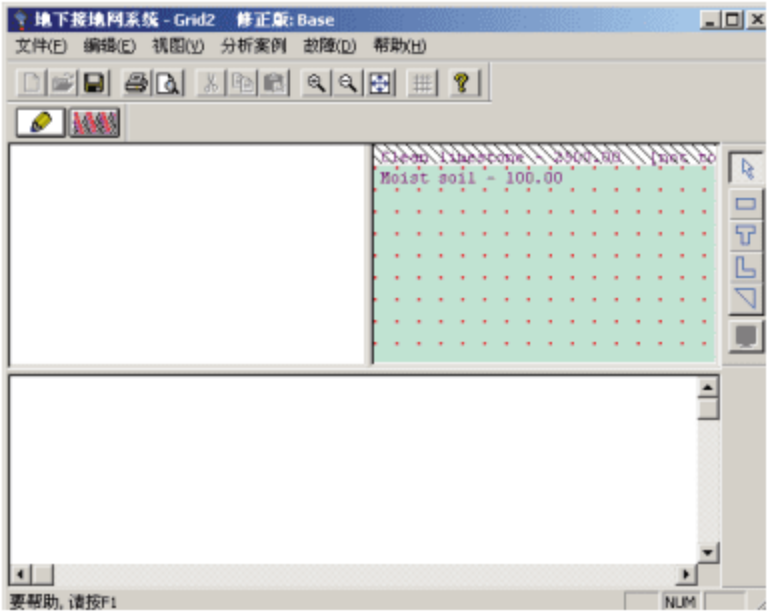


图 8—2 地下接地网系统显示图

接地网系统显示图由三部分构成，如图 8—2 所示，显示图上部从左至右分别是：三维视图、土壤视图，下部是表层视图。表层视图用于编辑接地网系统中水平接地体和垂直接地体；土壤视图用于编辑土壤属性；三维视图用于编辑接地网的三维显示，也用于旋转系统，提供不同角度的显示图。

3、利用右侧的“IEEE 编辑工具栏”，在表层视图上添加“IEEE L 型”接地网，如图 8—3 所示。

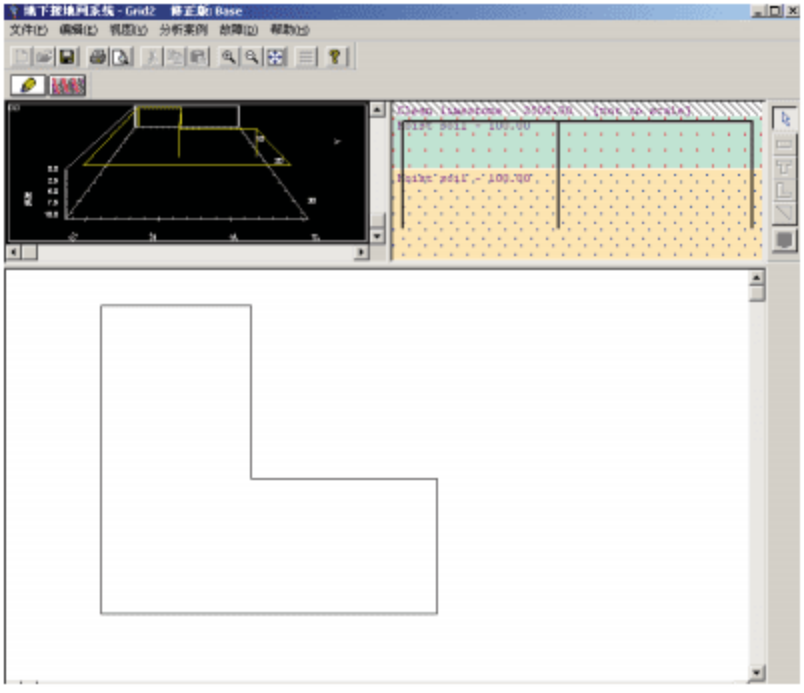


图 8—3 添加 IEEE—L 型接地网的示意图

4、双击表层视图的“IEEE L 型”接地网元件，打开 IEEE 组编辑器，按图 8—4、8—5 填入相应的数据。

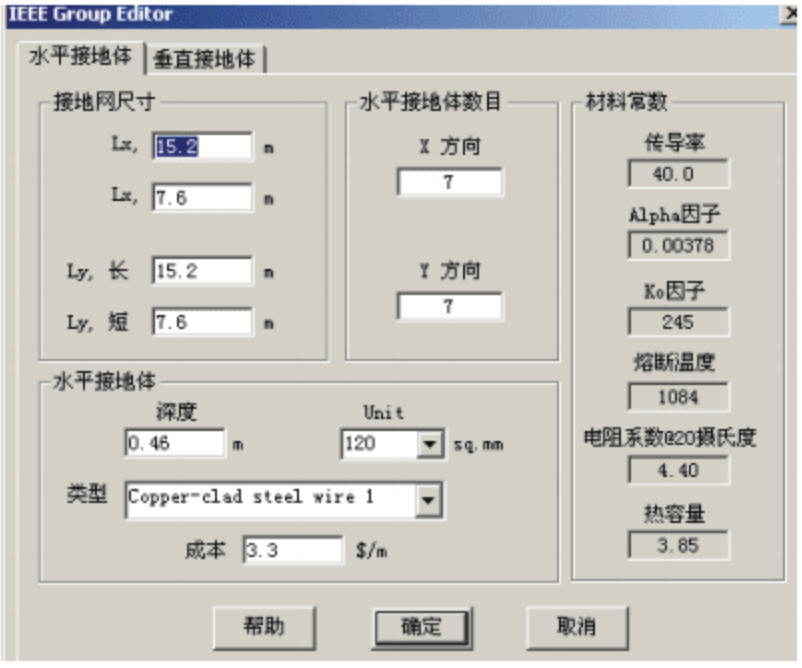


图 8—4 IEEE 组编辑器水平接地体属性页

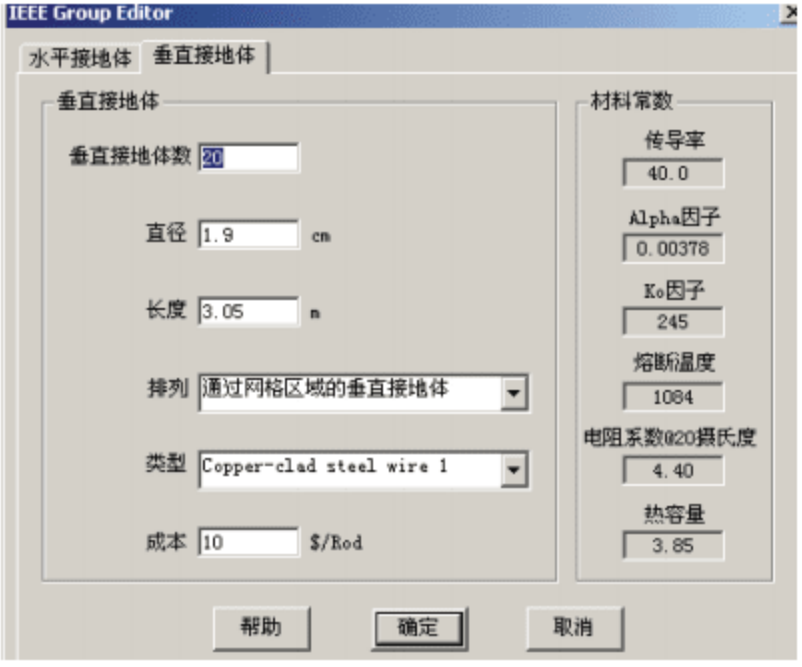


图 8—5 IEEE 组编辑器垂直接地体属性页

5、双击土壤视图，打开“土壤编辑器”，按图 8—6 输入相应数据。

图 8—6 土壤编辑器

6、点击“模式”工具栏上的“接地网分析”按钮，将其切换到接地网分析模式。

7、点击“分析案例”工具栏上的“编辑分析案例”按钮，打开“接地网分析案例”编辑器，按图 8—7 设置参数。

图 8—7 接地网系统分析案例编辑器

8、点击“接地网分析”工具栏上的“接地网计算”按钮，获得接地网计算结果，如图 8—8 所示。

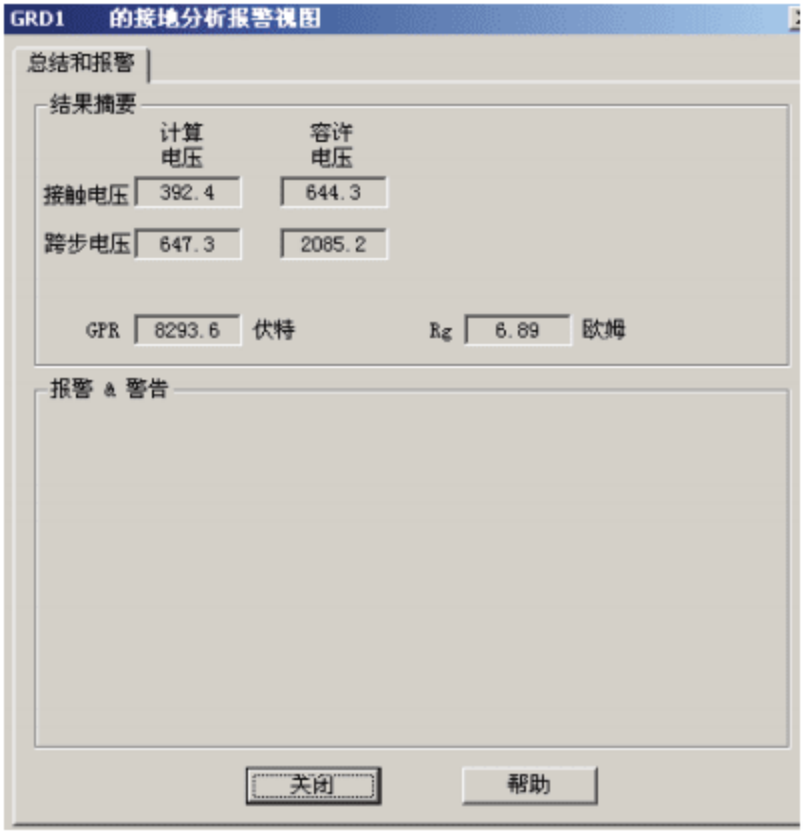


图 8—8 接地网分析报警视图

9、利用 ETAP 的报告功能，可以查看接地网系统的相关报告。

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance Ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Touch Potential Tolerable Volts	Touch Potential Calculated Volts	Touch Potential Calculated %	Step Potential Tolerable Volts	Step Potential Calculated Volts	Step Potential Calculated %
6.889	8293.6	644.3	392.4	60.9	2085.2	647.3	31.0

Total Fault Current:	1.200 kA	Reflection Factor (K):	-0.923
Maximum Grid Current:	1.204 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	0.781
		Decrement Factor (Df):	1.003

图 8—9 接地网系统接地分析结果报告

第二节 接地网系统的优化

ETAP 还具备优化接地网系统设计的功能，其提供了二种优化方法，均符合 ANSI/IEEE 标准。方法一、优化水平接地体数目：保持恒定数量的垂直接地体，由优化程序确定可满足跨步电压和接触电压的最少水平接地体数量；方法二、水平接地体和垂直接地体优化：优化程序按最小成本来确定水平接地体和垂直接地体的数量。

由所设计的接地网系统分析结果可以看出：接触电压和跨步电压的计算值分别为392.4V 和 647.3V，远小于接触电压和跨步电压的允许值 644.3V、2085.2V。显然该接地网的设计不够经济，下面利用 ETAP 获得该接地网系统的优化设计方案。接地网系统原设计：X 方向水平接地体数目为 7、Y 方向水平接地体数目为 7、垂直接地体数目为 20。

1、点击“接地网分析”工具栏上的“最优水平接地体数目”按钮，获得优化计算结果，X、Y 方向水平接地体数目均为 4，详细信息如图 8—10 所示。

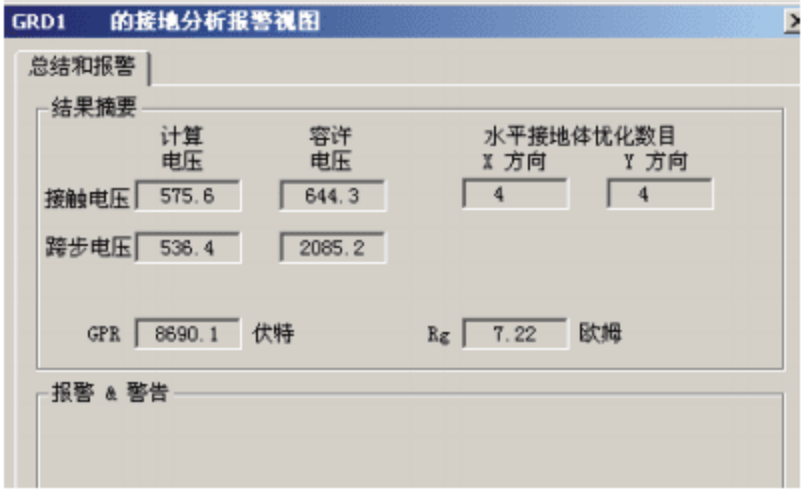


图 8—10 优化水平接地体数目的接地分析报警视图

2、点击“接地网分析”工具栏上的“最优水平接地体和垂直接地体数目”按钮，获得优化计算结果，X、Y 方向水平接地体数目均为 4，垂直接地体数目为 16，详细信息如图 8—11 所示。

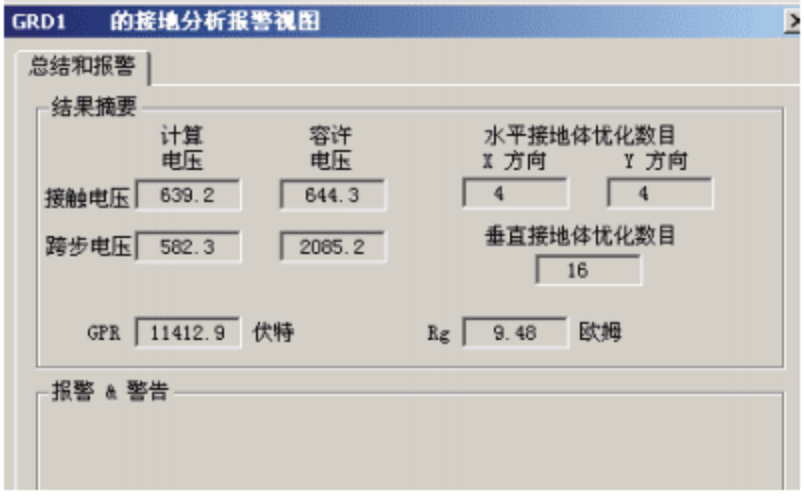


图 8—11 优化水平接地体和垂直接地体数目的接地分析报警视图

3、也可以利用 ETAP 软件将接地网系统的接地体数目直接更新为优化计算获得的接地体数目：在“接地网系统分析案例编辑器”的“更新”项中，如图 8—7 所示，选中更新“水平接地体和垂直接地体数目（最优）”复选框即可。

第三节　IEEE 方法接地网工程计算

接地网计算已知条件：

（1）对称接地故障电流：3.18KA　　X/R=3.33；

（2）切除短路故障的继电器和断路器总的动作时间 0.5 秒，没有重合闸；

（3）短路电流分流系数：0.6（已经考虑了未来 25 年系统的发展）；

（4）要求接地网规格：　70m x 70m 的矩形。

（5）使用的接地体规格：水平接地体，材料铜包钢，直径 10mm；

垂直接地体，材料铜包钢，长度 7.5 米。

1、 建立和编辑接地网模型：

A、水平接地体

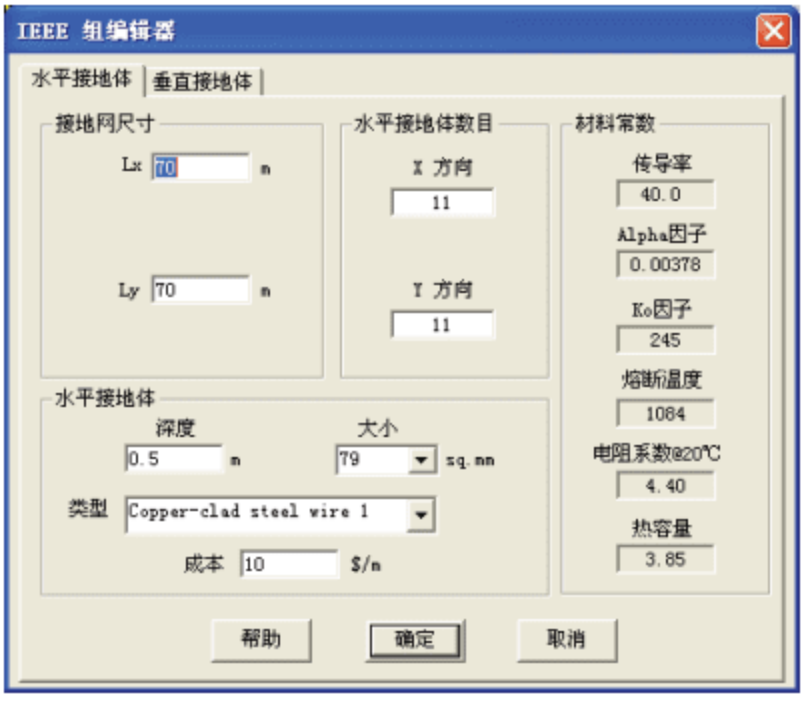


图 8-12　接地体编辑器—水平接地体

接地网尺寸：定义矩形接地网在 X 方向上长度为 70 米，在 Y 方向上长度为 70 米；

水平接地体数目：定义矩形接地网里 X 方向有导体 11 根，Y 方向有导体 11 根；

水平接地体：

深度：接地网埋的深度是 0.5 米；

大小：接地网中水平接地体的截面积 79 平方毫米；

类型：选择导体的材料类型，这里选择铜包钢的；

成本：每根导体的成本，包括购买和安装成本。

材料参数：上面描述的导体材料类型选择好之后这些参数就定了。ETAP 软件中收集了 IEEE 标准中的 13 中材料，每一种材料的参数都已经录入到库中，在做接地网计算时可以选择其中的一种，软件自动从哭中提取所选择的导体的各项参数用于计算。

B、垂直接地体

图 8-13　接地体编辑器—垂直接地体

垂直接地体数：20；

垂直接地体直径：2cm；

排列方式：沿接地网周边布置（这里有 IEEE 的五种排列方式可供选择）；

2、 编辑土壤参数

图 8-14　土壤编辑器

在这里分层输入土壤电阻率、材料和厚度。

表层材料：为了提高接触电压和跨步电压的允许值经常在土壤表面铺上电阻率大的碎石、砾石、卵石等电阻率大的材料，在这里就填这些材料的电阻绿和厚度。上层、下层：这里填埋接地体的土壤电阻率。实际中可能各区域土壤的电阻率不同，这里每层只能填一个电阻率，所以这里填平均电阻率。上下两层电阻率也可以一样。每层土壤材料也有几种类型可供选择，每种类型对应有各自的电阻率。电阻率也可以自己编辑。

3、输入分析计算条件

图 8-15　接地网分析案例编辑器

选项：

重量——人的体重 70Kg

环境温度——40 度

故障持续时间：0.5 秒，tf、tc、ts 三个值都是故障持续时间，用于不同的三个计算，它们的值都填一样。

接地电流：3.18KA，X/R=3.33。接地电流的来源有两种，可以用户直接指定，也可以通过 ETAP 的系统短路计算模块计算得到。

接地网电流因子：

Sf——短路电流系统分流因子；

Cp——考虑未来发展的短路电流增长因子。

4、根据输入的固定参数进行分析

鼠标一点运行计算按钮，软件开始计算，计算结束后有结果窗口出现，也可以生成计算报告。

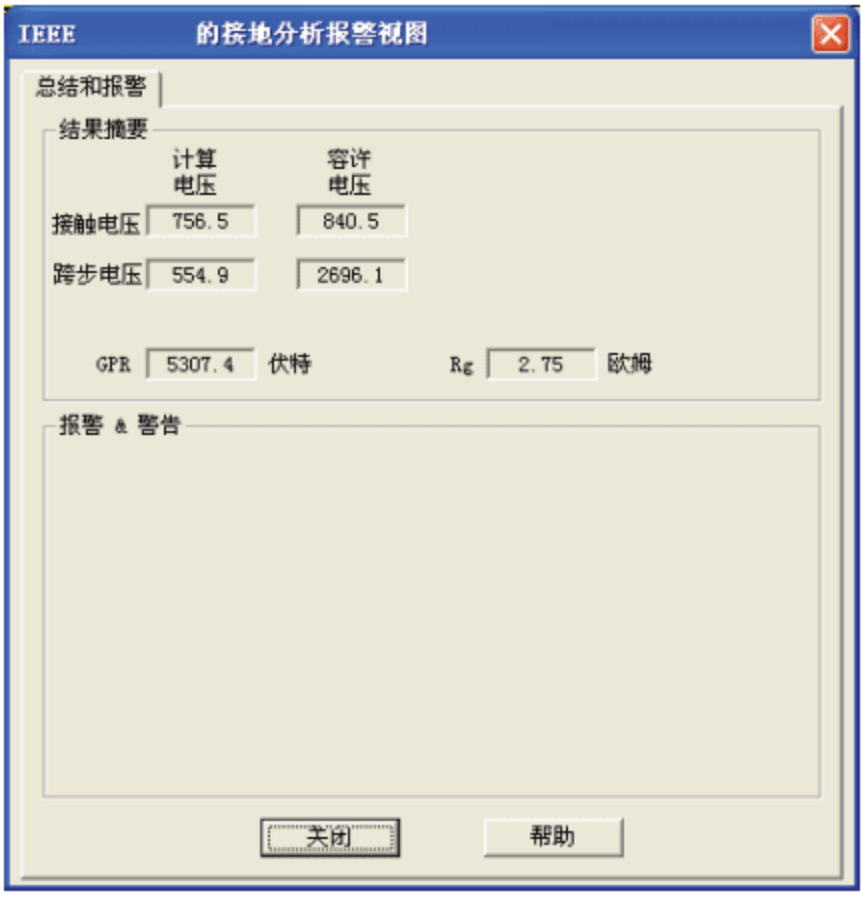


图 8-16　计算结果窗口——IEEE 固定参数

上图就是计算结果窗口，显示计算结果：

（1）接触电压计算值 756.5V，接触电压容许值 840.5V；

（2）跨步电压计算值 554.9V，跨步电压容许值 2696.1V；

（3）接地体电位上升（GPR）5307.4V，接地电阻（Rg）2.75 欧姆。

5、优化水平和垂直接地体分析

鼠标点击运行优化计算按钮，软件开始优化计算。计算结束后优化结果和计算结果都显示在结果窗口，也可以生成报告。接地体材料、规格和分析的条件参数都用原来的。

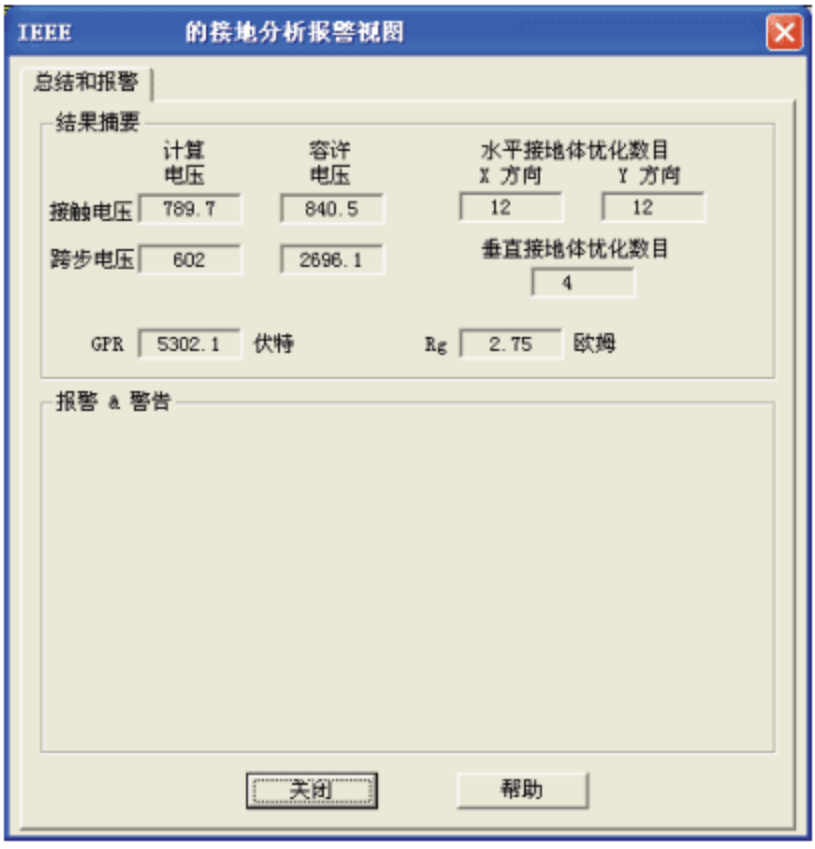


图 8-17　计算结果窗口——IEEE 优化

此前输入数据为水平接地体 22 根，垂直接地体 20 根；优化结果为水平接地体 24 根，垂直接地体 4 根。这样就降低了接地网成本。用接地体优化结果重新计算得到：

（1）接触电压计算值 789.7V，接触电压容许值 840.5V；

（2）跨步电压计算值 602V，跨步电压容许值 2696.1V；

（3）接地体电位上升（GPR）5302.1V，接地电阻（Rg）2.75 欧姆。

第四节　有限元法接地网工程计算

1、建立接地网模型

有限元法建模和 IEEE 方法建模不同，它需要一根一根的搭建接地网模型。为了跟上面所描述的 IEEE 方法计算相成对比，在这里建立一个跟上例 IEEE 方法一样的接地网模型。水平接地体 X 方向上 11 根，间距 7 米；Y 方向上 11 跟，间距 7 米，每根长度 70 米，截面积 79 平方毫米，组成一个 70m x 70m 的矩形网。垂直接地体 20 根，直径 2cm，每根长度 7.5 米，沿水平接地网周边排列。通过坐标列表确定每根接地体端点的坐标，确保每个接点连接良好。

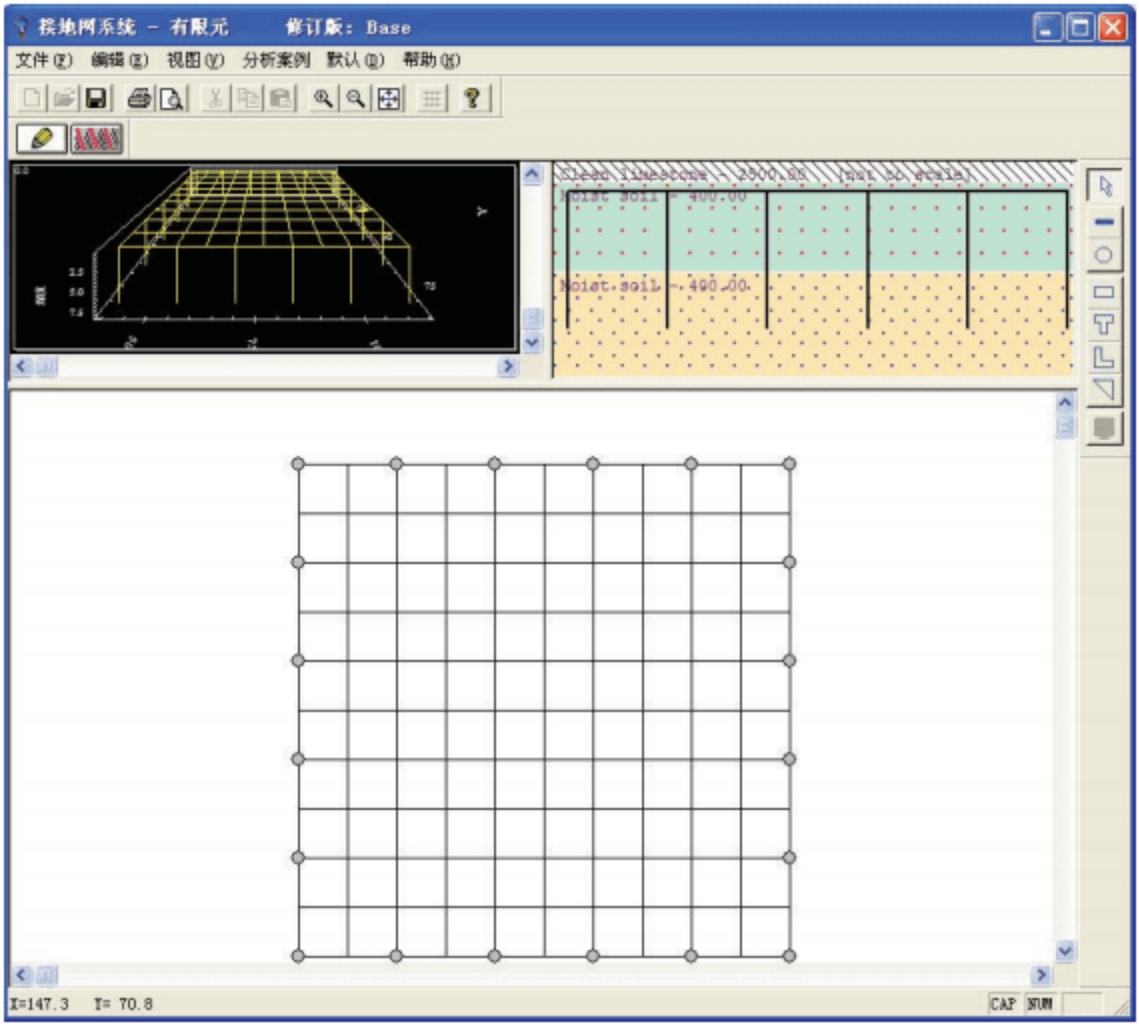


图 8-18　有限元法接地网建模

2、 编辑土壤电阻率和分析条件，所有这些设置都和 IEEE 计算设置一样。

图 8-19　土壤编辑器

图 8-20　接地网分析案例编辑器

3、点击有限元法计算按钮，进行有限元法计算，计算结果在结果窗口有显示，详细的结果还可以生成报告和画图。

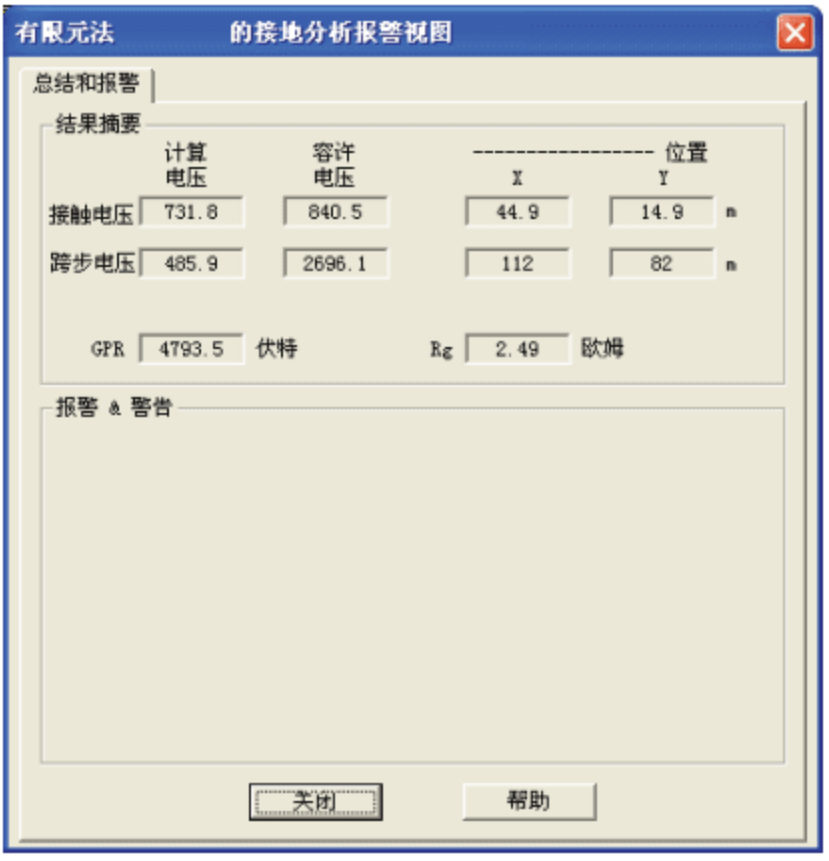


图 8-21　计算结果窗口——有限元法

A、窗口显示

（1）接地网区域内接触电压和跨步电压接触电压可能出现的最大值：731.8V 和 485.9V；

（2）接地网区域内接触电压和跨步电压接触电压容许的最大值：840.8V 和 2696.1V；

（3）接触电压和跨步电压接触电压可能出现的最大值的点是：（44.9，14.9）和（112，82）；

（4）接地体电位上升（GPR）4793.5V，接地电阻（Rg）2.49 欧姆。

B、报告

概要报告

Ground Grid Summary Report

Rg	GPR	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
Ground Resistance Ohm	Ground Potential Rise Volts	Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates (m) X	Coordinates (m) Y	Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates (m) X	Coordinates (m) Y
2.49	4793.5	840.5	731.8	87.1	44.9	14.9	2696.1	485.9	18.0	112.00	82.00

图 8-22　有限元法概要报告

详细报告

Ground Grid Results

#	Location (m) X	Location (m) Y	Absolute Voltage Volts	Touch Potential Volts	Touch Potential % Tolerable	Step Potential Volts	Step Potential % Tolerable
1	42.0	82.0	4270.1	523.5	62.3	485.9	18.0
2	43.0	82.0	4297.1	496.4	59.1	374.2	13.9
3	44.0	82.0	4256.2	537.3	63.9	324.3	12.0
4	45.0	82.0	4243.6	550.0	65.4	306.7	11.4
5	46.0	82.0	4252.5	541.0	64.4	302.4	11.2
6	47.0	82.0	4281.1	512.4	61.0	307.8	11.4
7	48.0	82.0	4334.8	458.7	54.6	329.8	12.2
8	49.0	82.0	4409.7	383.8	45.7	375.4	13.9
9	50.0	82.0	4372.0	421.6	50.2	328.1	12.2
10	51.0	82.0	4350.7	442.9	52.7	302.2	11.2
11	52.0	82.0	4336.0	457.5	54.4	279.2	10.4

图 8-23　有限元法详细报告

C、三维画图：X 坐标，Y 坐标，（接触\跨步\绝对）电压值

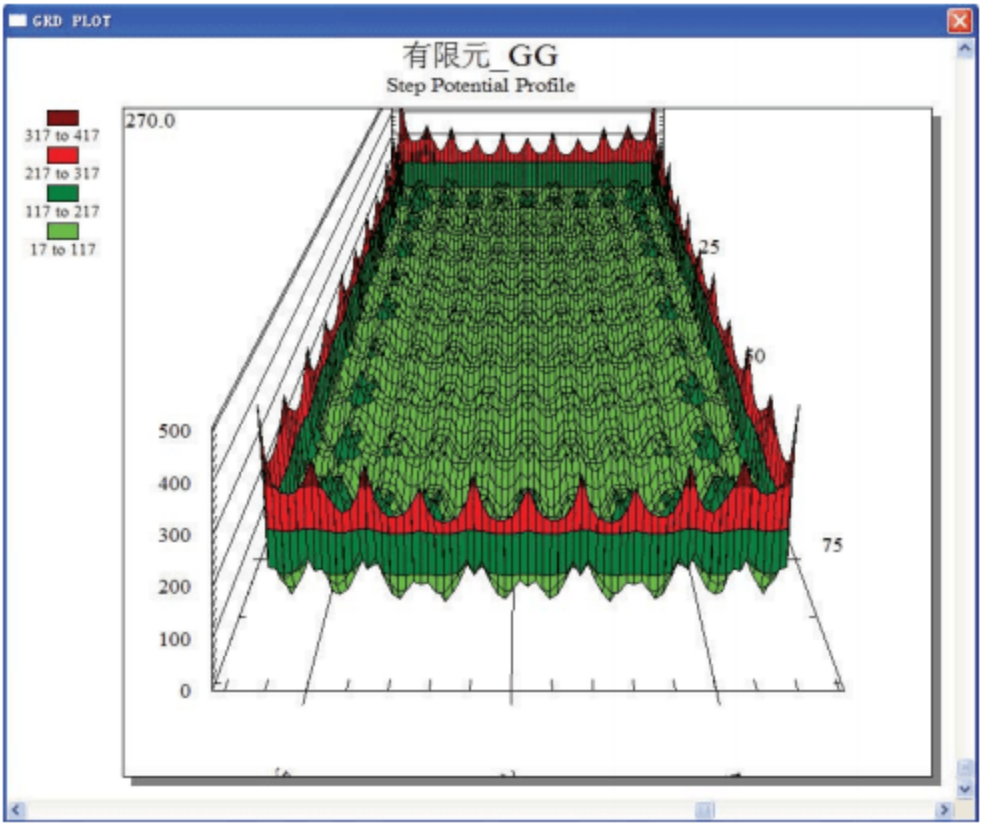


图 8-24　结果画图——跨步电压

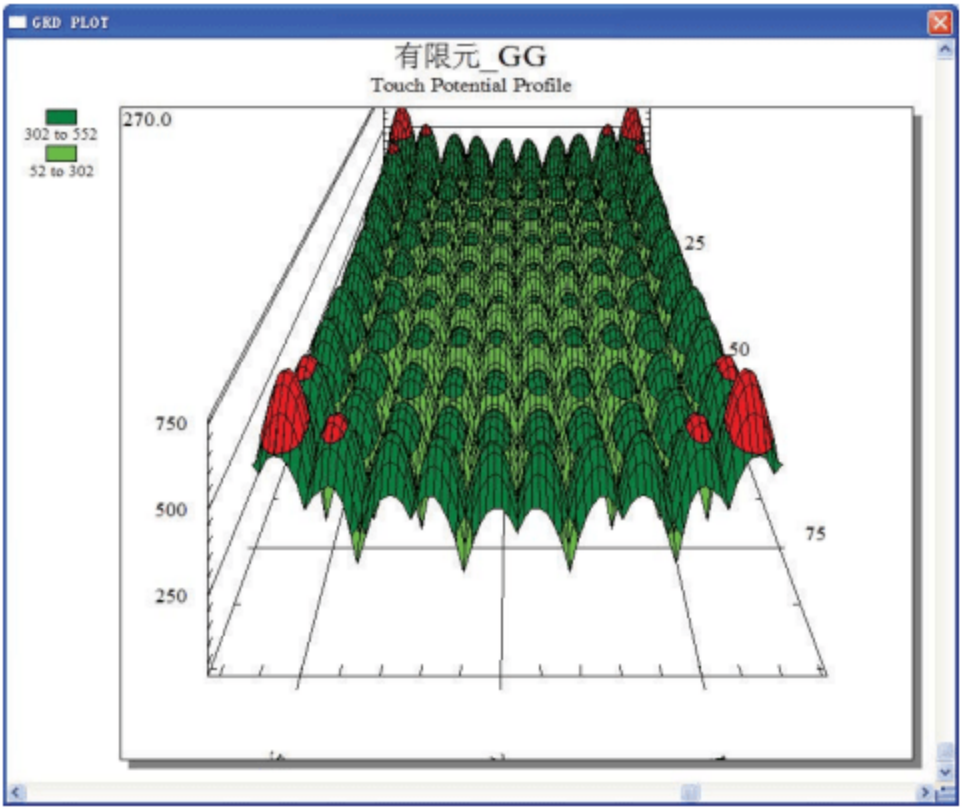


图 8-25　结果画图——接触电压