

前 言

电力系统中的各种设备，由于内部绝缘的老化、损坏或遇有操作人员的无操作，或由于雷电、外力破坏等影响，可能发生故障和不正常运行情况。电力系统继电保护的任务就是自动、迅速、有选择性的将系统中的故障切除，或者发出各种信号。

电力系统对继电保护设备的技术指标和产品质量的要求已越来越高，各种科研单位和制造厂商在科研上的投入也越来越多。现有的继电保护设备存在调试方法效率低，调试过程复杂，认为因素影响大，调试生产在同一场地完成设备，这造成了继电保护设备难于批量生产、调试。电力系统是一个系统工程，其自动化产品需经组屏使用，对整屏仅仅采用人工对线是不够的，为了提高整屏质量，要求所有整屏在出厂前完成在运行环境下的各种实验，相对于原来的调试方式，投资少，体积小，接线方式更改方便，并能方便操作的实用化仿真系统显得非常重要，为此目的而使用继电保护仿真技术组成的系统称谓继电保护仿真测试系统。

继电保护随着电路系统的发展孕育而生，随着科技的发展，保护装置从最初的熔断器发展到晶体管继电保护装置，再到日前广泛应用的微机保护，新技术的应用在其中起到了积极的作用。而目前电力系统的整定计算，多数设计及校验人员仍然完全靠手工计算及整定并手工绘制 TCC 曲线，工作耗时较长，效率较低。ETAP 软件^[1]的继电保护配合模块是国际主流的继电保护配合仿真软件，该模块可有效应用于继电保护整定计算，方便校验，并且可以对任意支路生成时间电流曲线（TCO 曲线），可以仿真任意点故障时继电器的动作顺序和动作时间。

本文利用 ETAP 软件对电力系统的继电保护设备配合进行仿真，首先利用 ETAP 进行建模，然后利用 ETAP 实现电力系统输电线路的故障仿真，进行短路计算，获取继电保护整定所需要的数据，然后选取合适的保护方案，最后利用 ETAP 软件进行继电保护仿真，校验方案的可行性。

1. 电力系统继电保护概述

1.1 电力系统继电保护的作用

输电线路、变压器、供电网络和用电设备组成了供用电系统。在运行过程中，供用电系统可能出现故障和不正常运行状态，最常见的故障是各种类型的短路，如三相短路、两相短路、两相接地短路、单项接地短路以及变压器、电机绕组的匝间短路等。

发生故障的原因多种多样，主要有 雷击、倒塔、鸟兽跨接电气设备；设备设计、制造缺陷；安装、调试、运行、维护不当，误操作等。发生故障后，电流会突然增大，电压大幅度降低，会造成以下后果：

（1）故障点通过很大的短路电流，引发电弧，使电气设备烧坏，通过短路电流的无故障设备，在发热和电动力作用下损坏或降低使用寿命。

（2）系统电压大幅度下降，用户的正常工作遭到破坏，甚至损坏用电设备，影响产品质量。

（3）破坏电力系统运行的稳定性，引起系统振荡甚至使整个电力系统瓦解，导致大面积停电。

1.1.1 继电保护的基本任务

电力系统继电保护^[2]装置是指能反映电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态而动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置，继电保护装置的基本任务是：

（1）当电力系统中某电气元件发生故障时，能自动，迅速，有选择的将故障元件从电力系统中切除，避免故障元件继续遭到破坏，使非故障元件迅速的恢复正常运行。

（2）当系统中电气元件出现不正常运行状态时，能及时反映 并根据运行维护的条件发出信号或跳闸。

原则上说：只要找出正常运行与故障时系统中电气量或非电气量的变化特征，即可形成某种判据，从而构成某种原理的保护，且差别越明显，保护性能越好。

1.2 电力系统继电保护技术与继电保护装置

1.2.1 统继电保护技术要求

（1）起动失灵的保护为线路、过电压和远方跳闸、母线、短引线、变压器（高抗）的电气量保护。

（2）断路器失灵保护的动作为： 瞬时分相重跳本断路器的两个跳闸线圈；经延时三相跳相邻断路器的两个跳闸线圈和相关断路器（起动两套远方跳闸或母差、变压器保护），并闭锁重合闸。

（3）失灵保护应采用分相和三相起动回路，起动回路为瞬时复归的保护出口接点（包括与本断路器有关的所有电气量保护接点）。

（4）断路器失灵保护应经电流元件控制实现单相和三相跳闸， 判别元件的动作时间和返回时间均不应大于 20ms。

（5）重合闸仅装于与线路相联的两台断路器保护屏（柜）内，且能方便地整定为一台断路器先重合，另一台断路器待第一台断路器重合成功后再重合。

（6）断路器重合闸装置起动后应能延时自动复归， 在此时间内断路器保护应沟通本断路器的三跳回路，不应增加任何外回路。

（7）闭锁重合闸的保护为变压器、失灵、母线、远方跳闸、高抗、短引线保护。

（8）短引线保护可采用和电流过流保护方式， 也可采用差动电流保护方式。

（9）短引线保护在系统稳态和暂态引起谐波分量和直流分量影响下不应误动作。

（10）短引线保护的线路或变压器隔离刀闸辅助接点开入量不应因高压开关场强电磁干扰而丢失信号。对隔离刀闸辅助接点的通断应有监视指示。

1.2.2 继电保护装置的组成

无论按什么原因构成继电保护，其装置结构都由三个部分组成，即测量比较部分、逻辑判断部分和执行部分。

1.2.3 继电保护装置的分类

按保护所起的作用分类可分为：主保护，后备保护，辅助保护等。

主保护是指满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护元件故障的保护。

后备保护是指当主保护或断路器拒动时用来切除故障的保护。

辅助保护是为了补充主保护和后备保护的性能的简单保护。

1.3 继电保护的基本要求

根据继电保护^[3]的任务，对动作于跳闸的继电保护要求其具有选择性、速动性、灵敏性和可靠性。这些要求是相辅相成，相互制约的，需要根据具体的使用环境进行协调保证。

(1)选择性：系统中发生故障时，保护装置应有选择地切除故障部分，非故障部分继续运行；

(2)快速性“短路时，快速切除故障这样可以

- a. 缩小故障范围，减少短路电流引起的破坏；
- b. 减少对用记的影响；
- c. 提高系统的稳定性；

(3)灵敏性：指继电保护装置对保护设备可能发生的故障和正常运行的情况，能够灵敏的感受和灵敏地作，保护装置的灵敏性以灵敏系数衡量。

(4)可靠性：对各种故障和不正常的运方式，应保证可靠动作，不误动也不拒动，即有足够的可靠。

以上对继电保护装置的四个基本要求是分析研究继电保护性能的基础，他们之间紧密相连，互相之间既有矛盾，又可以在一定条件下统一。

1.4 电力系统继电保护技术发展现状^[4]

电力系统的飞速发展对继电保护技术不断提出新的要求，电子技术、计算机技术与通信技术的飞速发展不断地注入新的活力，我国的继电保护技术在 60 余年的时间里完成了发展的 4 个阶段。

建国后，我国继电保护学科、继电保护设计、继电器制造工业和继电保护技术队伍从无到有，在大约 10 年的时间里走过了先进国家半个世纪走过的道路。50 年代，我国工程技术人员创造性的吸收、消化、掌握了国外先进的继电保护性能和运行技术，建成了一只具有深厚继电保护理论造诣和丰富运行经验的继电保护技术队伍，对全国继电保护技术队伍的建立和成长起了指导作用。在 60 年代中期我国已经建成了继电保护研究、设计、制造、运行和教学的完成体系，这是机电式继电保护繁荣的年代，为我国继电保护技术的发展奠定来了坚实基础。

自 50 年代末期，晶体管继电保护技术已经开始研究，60 年代中期到 80 年

代中期时晶体管继电保护技术蓬勃发展和广泛应用的时代。尤其是天津大学与南京电力自动化设备厂合作研究的 50KV 晶体管方向高频闭锁距离保护, 运行于葛洲坝 500KV 线路上, 结束了 500KV 线路保护完全依靠从外国进口的历史。

我国从 70 年代末期即已经开始了计算机继电保护技术的研究。 华中理工大学、西安交通大学、天津大学、华北电力大学以及南京电力自动化研究院等都开始相继研制了不同原理、不同型式的微机保护装置。

随着继电保护装置的研究, 在微机保护软件、算法等方面也取得了很多理论成果, 可以说, 从 90 年代开始我国继电保护技术已经进入到了微机保护的时期。

1.5 电力系统继电保护技术发展前景

随着电力系统的飞速发展和电子技术、计算机技术、通信技术的进步, 继电保护技术有了长足的发展。 当前国内外继电保护技术发展的趋势为计算机化, 网络化, 保护、控制、测量、数据通信一体化和人工智能化。

1. 计算机化

随着计算机硬件的迅猛发展, 微机保护硬件也在不断地发展。电力系统对微机保护的要求除了保护的基本功能外, 还要求具有大容量故障信息和数据的长期存放空间, 快速的数据处理功能, 强大的通信能力, 与其他保护、控制装置和调度联网共享全系统数据、 信息和网络的能力。 在计算机保护发展的早期, 曾试想用一台小型计算机作为继电保护装置, 但由于当时小型机体积大、成本高、可靠性差, 这个设想是不现实的。现在, 同微机保护装置大小相似的工控机的功能、速度和存储容量都大大超过了当年的小型机, 用成套工控机作为继电保护的时期已经成熟, 这将是微机保护的发展方向之一。

2. 网络化

计算机网络作为信息和数据通信工具已经成为信息时代的技术支柱, 使人类生产和社会生活的面貌发生了根本变化。他深刻影响着各个工业领域, 也为各个工业领域提供了强有力的通信手段。到目前为止, 除了差动保护和纵联保护外, 继电保护的作用也只限于切除故障元件, 缩小事故影响范围。这主要是由于缺乏强有力的数据通信手段。国外早已提出过系统保护的概念, 这在当时主要指安全自动装置。因为继电保护的作用不只限于切除故障元件和限制事故影响范围, 还要保证全系统的安全稳定运行。这就要求每个保护单元与重合闸

装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作，确保系统的安全稳定运行。显然，实现这种系统保护的基本条件是将全系统各主要设备的保护装置用计算机网络连接起来，亦即实现微机保护装置的网络化。根据上述可知，微机保护装置网络化可大大提高保护性能和可靠性，这是微机保护发展的趋势。

3. 保护、控制、测量、数据通信一体化

在实现继电保护的计算机化和网络化的条件下，保护装置实际上就是一台高性能、多功能的计算机，是整个电力系统计算机网络上智能终端。它可从网上获取电力系统运行和故障的人意信息和数据，也可以将它获得的被保护元件的任何信息和数据传送给网络控制中心或者任一终端。因此，每个微机保护装置不但可以完成继电保护功能，而且在无故障正常运行情况下还可以完成测量、控制、数据通信功能，亦即实现保护、控制、测量、数据通信一体化。

4. 智能化

近年来，人工智能技术如神经网络、遗传算法、进化规划、模糊逻辑等在电力系统各个领域都得到了应用，在继电保护领域应用的研究也已经开始。例如在输电线路两侧系统电势角度摆开情况下发生经过渡电阻的短路，距离保护很难正确判断故障位置，从而造成误动或者拒动。而如果用神经网络方法，经过大量故障样本的训练，只要样本集中充分考虑了各种情况，则在发生任何故障都可正确判断。其他如遗传算法、进化规划等也都有其独特的求解复杂问题的能力。可以预见，人工智能技术在继电保护领域必会得到应用，以解决用常规方法难以解决的问题。

1.6 小结

随着当前分布式发电技术的发展和运用，使得电源结构和分布发生改变，电力系统将因电源原动机特性和电源分布的不同而影响其性能，要求我们进一步研究相应的系统控制策略，开发新的继电保护与控制装置，电力系统继电保护产品也需向数字化、多功能一体化、网络化、智能化和虚拟化方向寻思发展，从而改善系统运行的特性，避免电力系统事故的发生，同时这也是电力系统继电保护发展的必然方向和要求。同时，随着电力系统的高速发展和计算技术、通信技术的进步，继电保护技术面临着进一步发展的趋势，这又对国内外继电保护技术发展的研究提出了新的要求。

2.电力系统 ETAP 建模及潮流分析

2.1 ETAP软件介绍

2.1.1 简介

ETAP^[5]是电力电气分析、电能管理的综合分析软件系统的简称。ETAP是功能全面的综合型电力及电气分析计算软件，能为发电、输配电和工业电力电气系统的规划、设计、分析、计算、运行、模拟提供全面的分析平台和解决方案。ETAP是美国OTI集团公司研发生产的电力及电气系统综合计算分析软件和实时在线控制、智能电网系统产品，也是电力系统规划、设计、分析、操作、培训和计算机仿真的全方位的综合性工程公司。

2.1.2 ETAP 主要特点

1. 虚拟现实操作

程序操作与实际的电气系统相似。例如，打开或合上断路器、停止运行某一设备、改变电机或负荷的运行状态时，其断电部件便以灰色显示在单线图上。ETAP包含了许多新概念，可以直接从单线图上决定保护装置的配合动作。

2. 数据的全面集成

ETAP将系统设备的电气、逻辑、机械、及物理属性都包含在一个数据库中。例如，一条电缆不仅拥有电气属性和物理尺寸的数据，还载有指示其缆道布线的信息。这样，一条电缆的数据即可用于潮流计算或短路计算（需要电气参数和联接方式），又能进行电流载流量的重新校核运算（需要物理布线数据）。数据集成提供了整个系统数据的一致性，并避免了同一数据的多次输入。

3. 简明数据录入

ETAP对每一个电气装置进行详细的数据跟踪。数据编辑器对每一特定计算规定最小数据量，从而加快了数据的输入。为达到这一目的我们以最符合逻辑的输入数据方式为不同类型的分析或设计建立编辑器。

ETAP单线图的许多特性可以帮助您建立各种复杂的网络。例如，每个设备都有各种方向、大小、和显示符号（IEC或ANSI的选择）。单线图亦允许在支路和母线之间安置多重保护装置。

ETAP软件作为三维数据库概念中的一部分，ETAP提供了展示或观看电气系

统的多种选择，它们被称为显示图（ **Presentations** ）。多种显示图满足您不同的分析或设计目的。在每个显示图中每个设备的位置、大小、方向和符号可以不同。另外，保护装置和继电器可以隐藏或显示。例如，在一显示图中所有的保护装置都可见。而在另外一幅图中只有断路器可见，其它都被隐藏了（适于潮流计算的布局）。

复合网络^[6]和复合电机是 **ETAP**最显著的特点之一。复合网络允许任意层次的嵌套。例如，**ETAP**软件复合网络可以嵌套复合网络，使得既能建立复杂的网络，又能保持一个整洁、无干扰的显示图，用于显示重点 - 而系统的下一层次的细节只要点一下鼠标便可知晓。所谓一切尽在您的指尖之上。

2.2 建立工程

2.2.1 打开软件

单击桌面上的“中文 **ETAP7.5.2**”图标，打开 **ETAP7.5.2** 中文版，如图 2-1 所示。

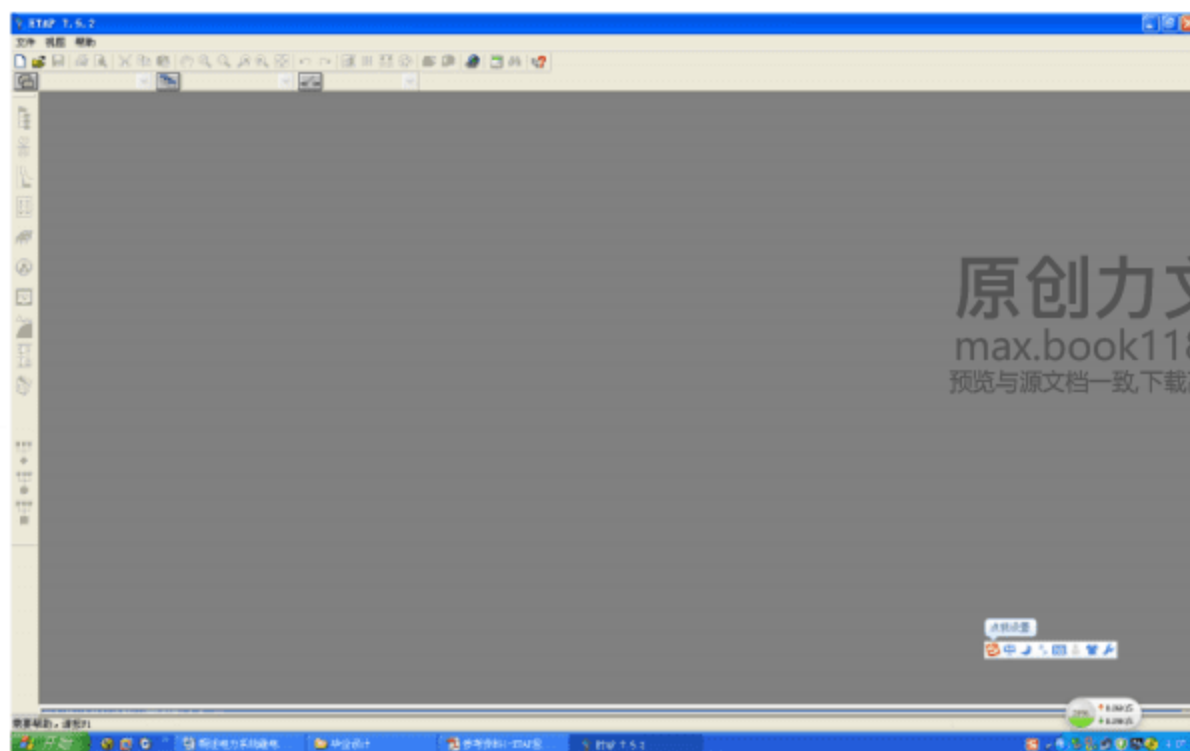


图 2-1ETAP7.5.2 界面

Fig.2-1ETAP7.5.2 interface

2.2.2 新建工程

打开“文件”下拉菜单，点击“新建工程”，如图 2-2 所示。

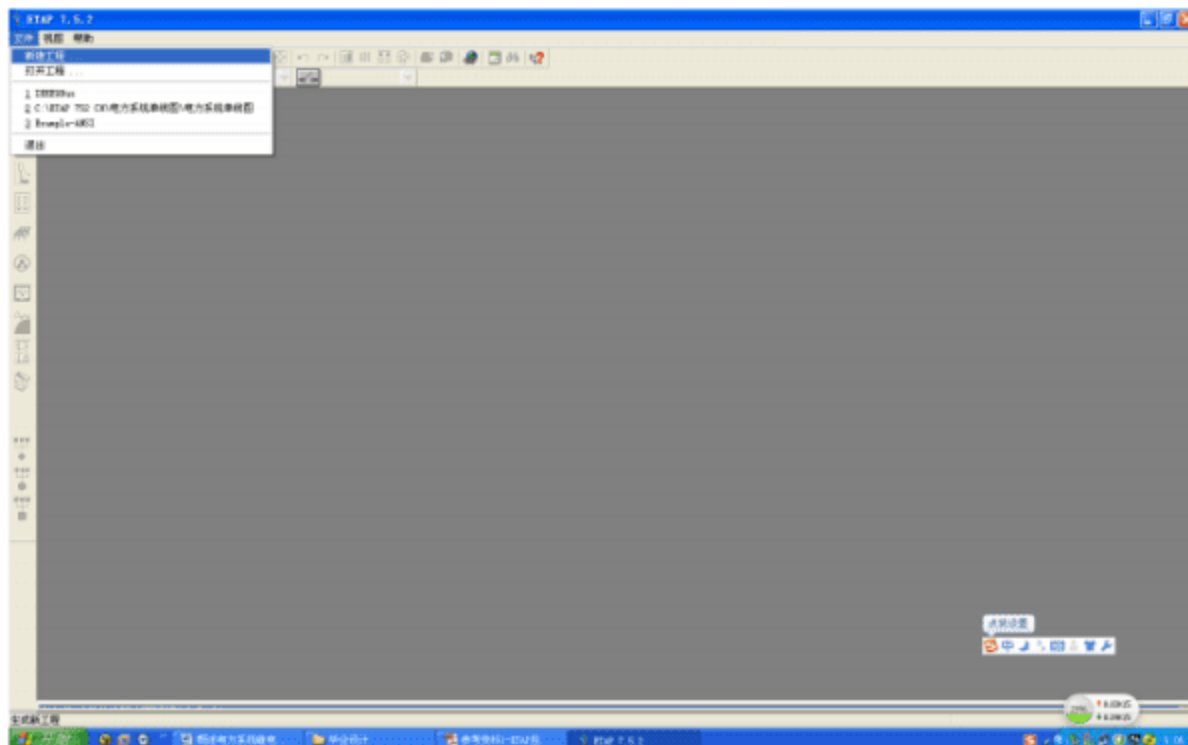


图 2-2 ETAP7.5.2- 新建工程界面

Fig.2-2 ETAP7.5.2-new project interface

2.2.3 建立文件名

输入文件名，如“电力系统单线图”，选择文件保存路径，如图 2-3 所示。

2.2.4 进入 ETAP编辑界面

点击“确定”，打开了 ETAP软件的编辑界面，如图 2-4 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。

2.3 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，这些元件是发电机、变压器、传输线、母线等。

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 2-5 所示。

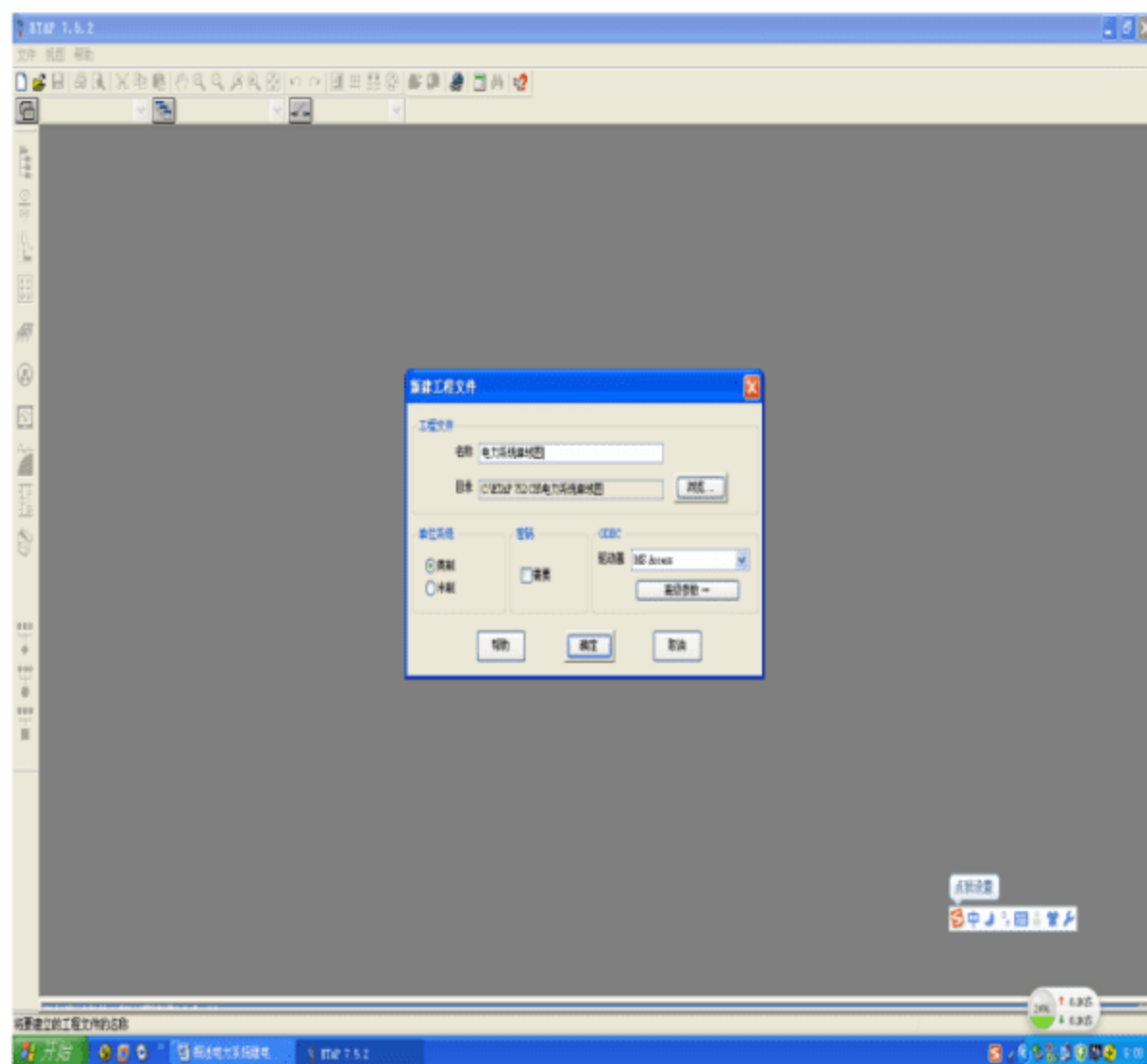


图 2-3 输入工程文件名界面

Fig.2-3 Enter the name of the project file interface

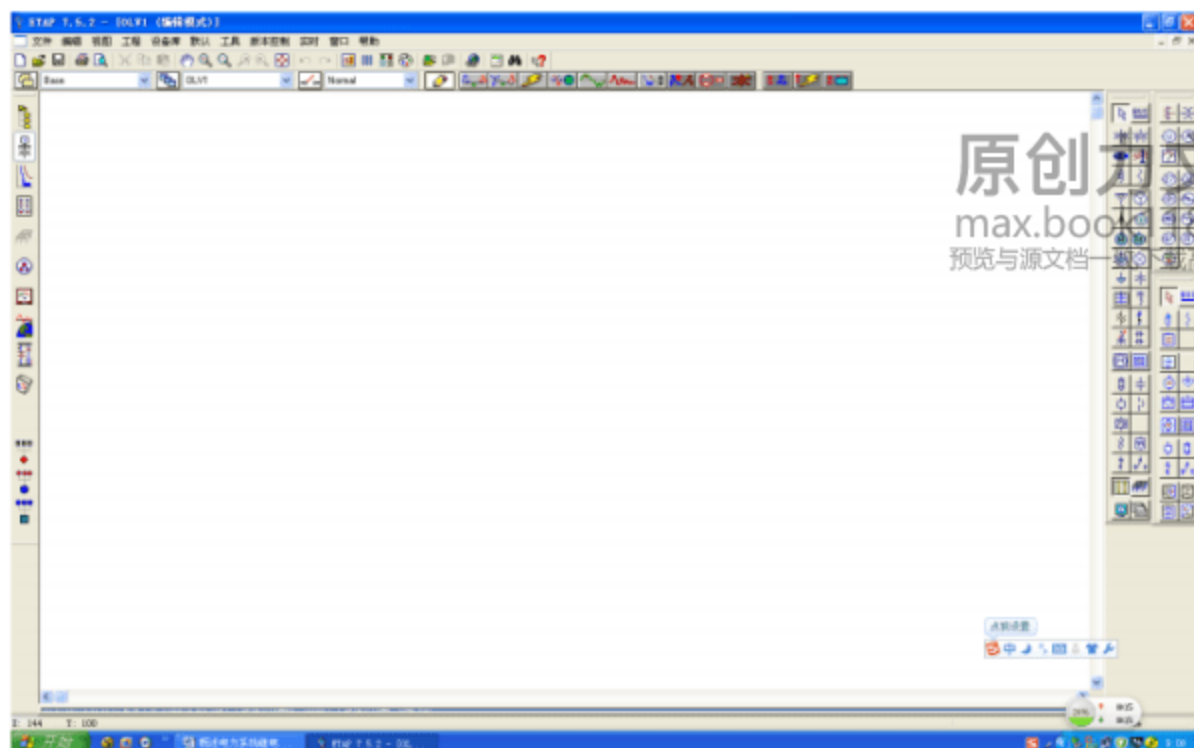


图 2-4 ETAP7.5.2 软件的编辑模式

Fig.2-4 ETAP7.5.2 Software editing mode

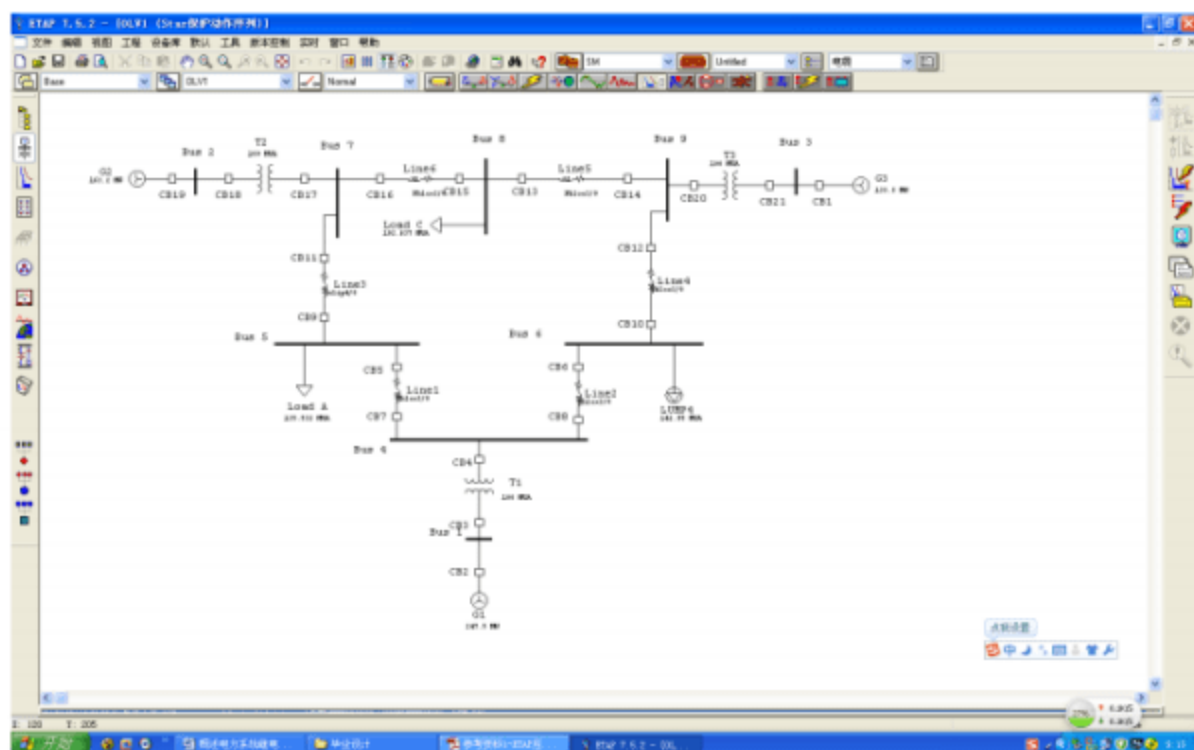


图 2-5 ETAP7.5.2 软件建立的系统单线图

Fig.2-5 ETAP7.5.2 Software to establish a system one-line diagram

2.4 输入主要元件参数

2.4.1 录入发电机参数

双击“发电机 G1”，打开发电机编辑器输入相应参数，如图 2-6 所示。以同样的方法录入发电机 G2、G3 的参数值。

2.4.2 录入等效负荷参数

双击元件“等效负荷 Lump4”，打开等效负荷编辑器 - “铭牌”属性页，录入相应的参数，如图 2-7 所示。

2.4.3 录入静态负荷参数

依次双击元件“静态负荷 Load A”和“静态负荷 Load C”，打开静态负荷属性页“铭牌”，录入相应的参数，如图 2-8 和 2-9 所示。

同步发电机编辑器 - G1

调速器 保护 FSS 谐波 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

16.5 kV 247.5 MW Swing

额定值

☒ MW ☐ kV ☐ % PF ☐ MVA ☐ % EFF. ☐ 极
 247.5 16.5 100 247.5 95 2
 % 母线标称电压 FLA RPM
 100 8660 3600

	发电类型	kV	相角	MW	Mvar	%PF	最大无功	最小无功
1	Design	104	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Constant	100	0					

原动机额定值

连续 ☐ 峰值 ☐
 HP MW HP MW
 331903 247.5 331903 247.5

无功限制

☐ 容量曲线 ☒ 用户定义
 Peak Mvar: 0

运行值

% V 电压相角 MW Mvar
 104 -6.3 74.765 94.014

图 2-6 同步发电机 G1 编辑器的“铭牌”属性页

Fig.2-6 Synchronous generator G1 editor 'nameplate' property page



图 2-7 等效负荷 Lump编辑器的“铭牌”属性页

Fig.2-7 Equivalent load Lump editor "nameplate"property page



图 2-8 静态负荷 Load A 铭牌页

Fig2-8. Static Load Load A nameplate page



图 2-9 静态负荷 Load C 铭牌页

Fig.2-9 Static Load Load C nameplate page

2.4.4 录入双绕组变压器参数

双击“变压器 T1”，打开变压器编辑器输入相应的参数，如图 2-10 和 2-11 所示。以同样的方式录入 T2、T3 的参数值，具体参数值见表 2-1。

表 2-1 变压器元件参数表

Table. 2-1 Transformer component parameter table

变压器名称	额定电压 (kv)	额定容量 (MVA)	接地方式
T1	230/16.5	100	Y_0 / Δ
T2	18/230	100	Y_0 / Δ
T3	13.8/230	100	Y_0 / Δ

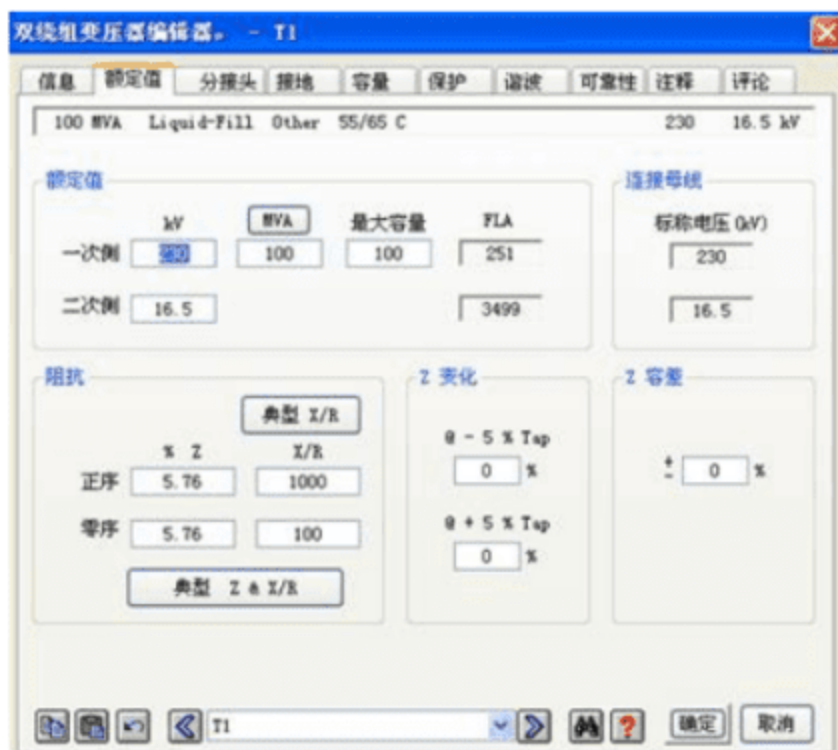


图 2-10 变压器 T1 编辑器的“额定值”属性页

Fig.2-10 Transformer T1 editor "Ratings" property page

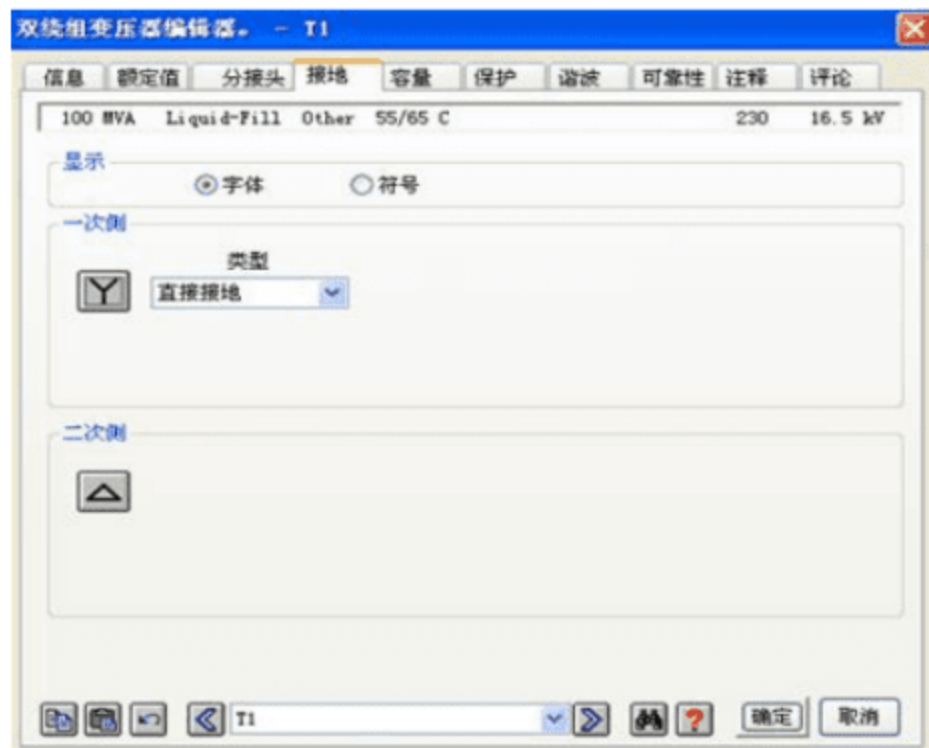


图 2-11 变压器 T1 编辑器的“接地”属性页

Fig2-11 Transformer T1 editor "ground" property page

2.5 电力系统 ETAP潮流分析

1. 点击右侧“显示选项”，选择“潮流”中的“电流”选项，该电流主要用于选择电流互感器的变比，操作如图 2-12 所示。



图 2-12 潮流选项

Fig2-12 Trend options

2. 点击右侧“运行潮流”按钮，则系统运行潮流分析，如图 2-13 所示。

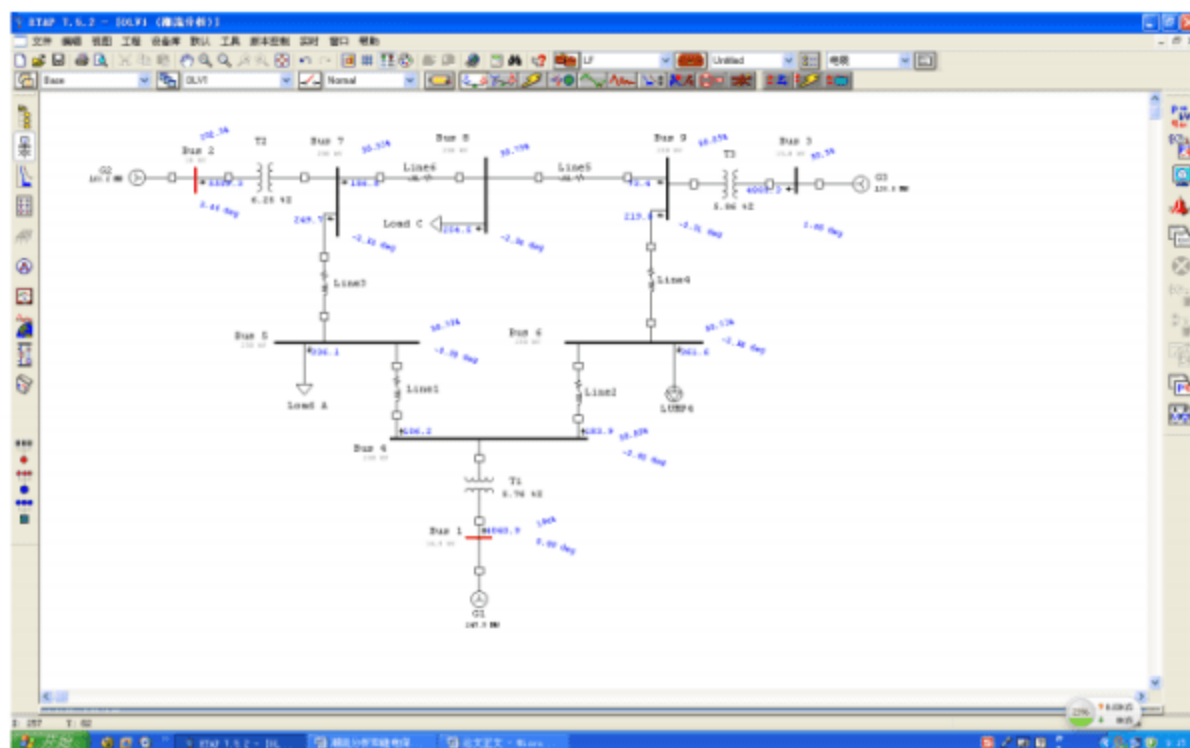


图 2-13 潮流分析结果

Fig2-13 Trend analysis

2.6 小结

ETAP 软件对于电力系统建模具有十分重要的使用意义，应用 ETAP 软件建立电力系统模型，大型工业电力系统的调度部门就可以简便、高效地完成多种运行方式、多种发电和负荷情况的分析计算工作，为各种典型调度方案以及一些特殊方案和临时方案提供理论依据，而不仅仅凭经验做事。

3.ETAP 短路仿真分析

3.1 三相短路仿真分析

3.1.1 母线 7 三相短路仿真分析

1. 点击“模式”工具栏中“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”，如图 3-1 所示。

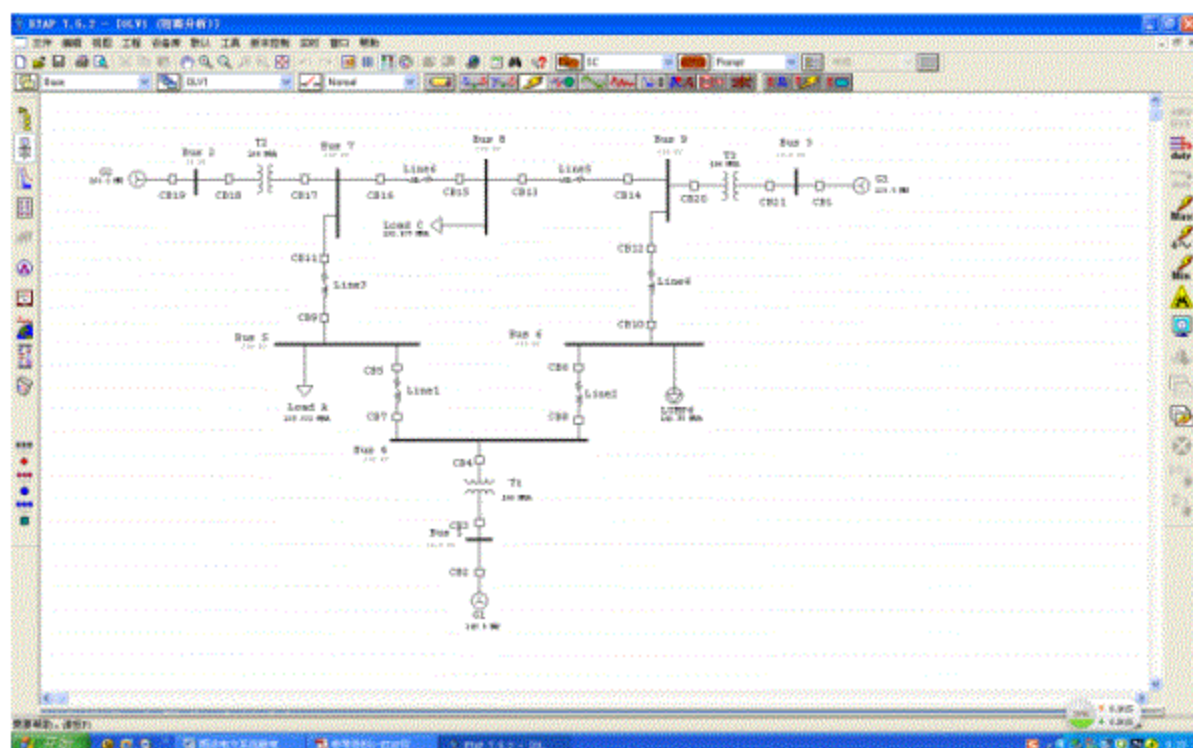


图 3-1 短路分析模块界面

Fig3-1 Short circuit analysis module interface

2. 设定故障位置为 Bus 7, 单击母线 Bus 7, 选定母线 Bus 7, 单击鼠标右键, 弹出快捷菜单, 选择“故障”。
3. 单击右侧分析工具栏的“启动三相短路电流计算”, 执行三相短路分析如图 3-3 所示。

3.1.2 母线 8 三相短路仿真分析

设定故障位置为 Bus 8, 单击右侧分析工具栏的“启动三相短路电流计算”, 执行三相短路分析如图 3-4 所示。

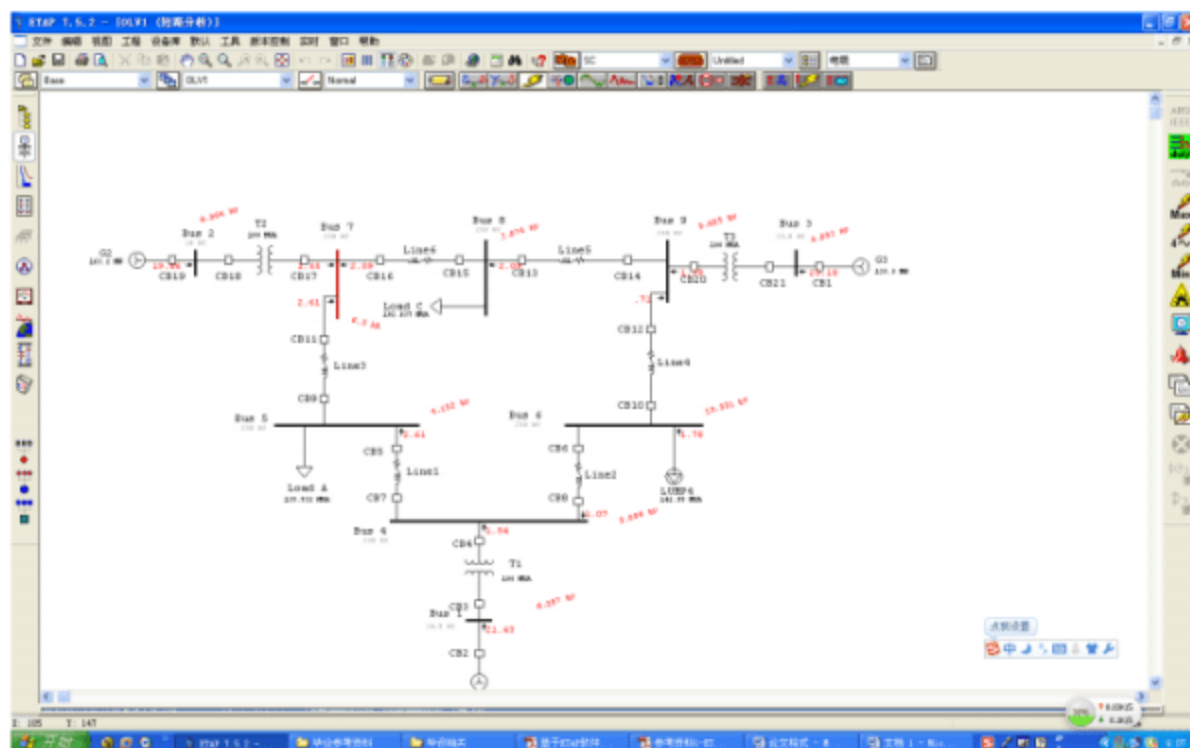


图 3-3 三相短路分析结果界面

Fig3-3 Phase short circuit analysis interface

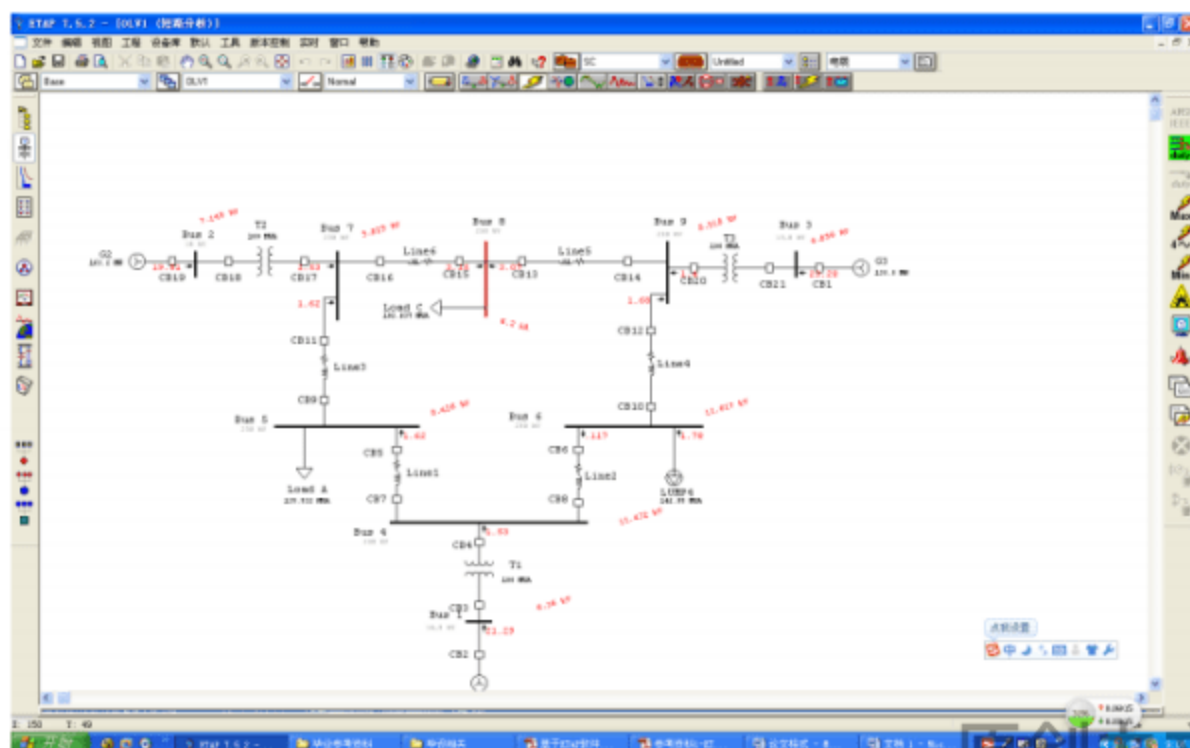


图 3-4 三相短路分析结果界面

Fig3-4 Phase short circuit analysis interface

3.1.3 母线 9 三相短路仿真分析

1. 设定故障位置为 Bus 9, 单击母线 Bus 9, 选定母线 Bus 9, 单击鼠标右键, 弹出快捷菜单, 选择“故障”。
2. 单击“启动三相短路电流计算”, 执行三相短路分析如图 3-5 所示。

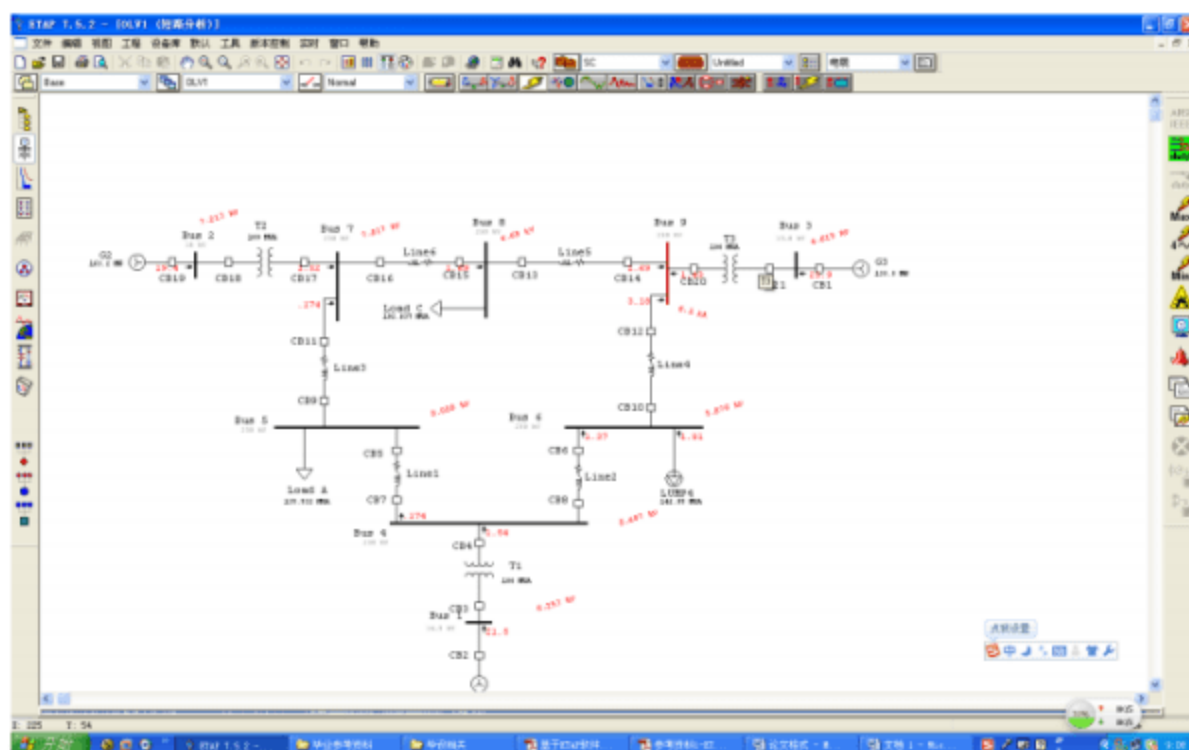


图 3-5 三相短路分析结果界面

Fig3-5 Phase short circuit analysis interface

3.2 两相短路仿真分析

3.2.1 母线 7 两相短路仿真分析

采用上述相同的方法, 设置母线 Bus 7 故障, 点击短路分析工具条的“IEC909”按钮, 进行不对称短路计算, 点击“显示选项”按钮, 选择两相短路, 仿真结果如图 3-6 所示。

3.2.2 母线 8 两相短路仿真分析

按以上方法对母线 8 进行两相短路分析, 分析结果如图 3-7 所示。

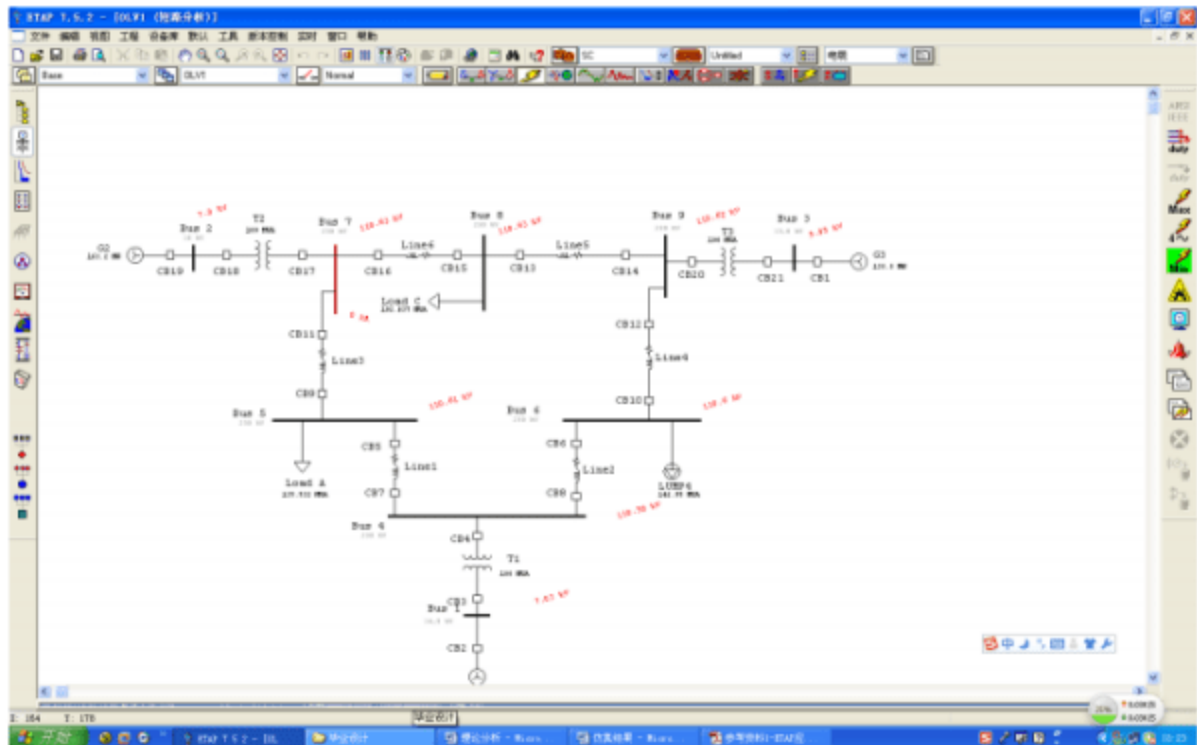


图 3-6 两相短路分析结果界面

Fig.3-6 Two-phase short circuit analysis interface

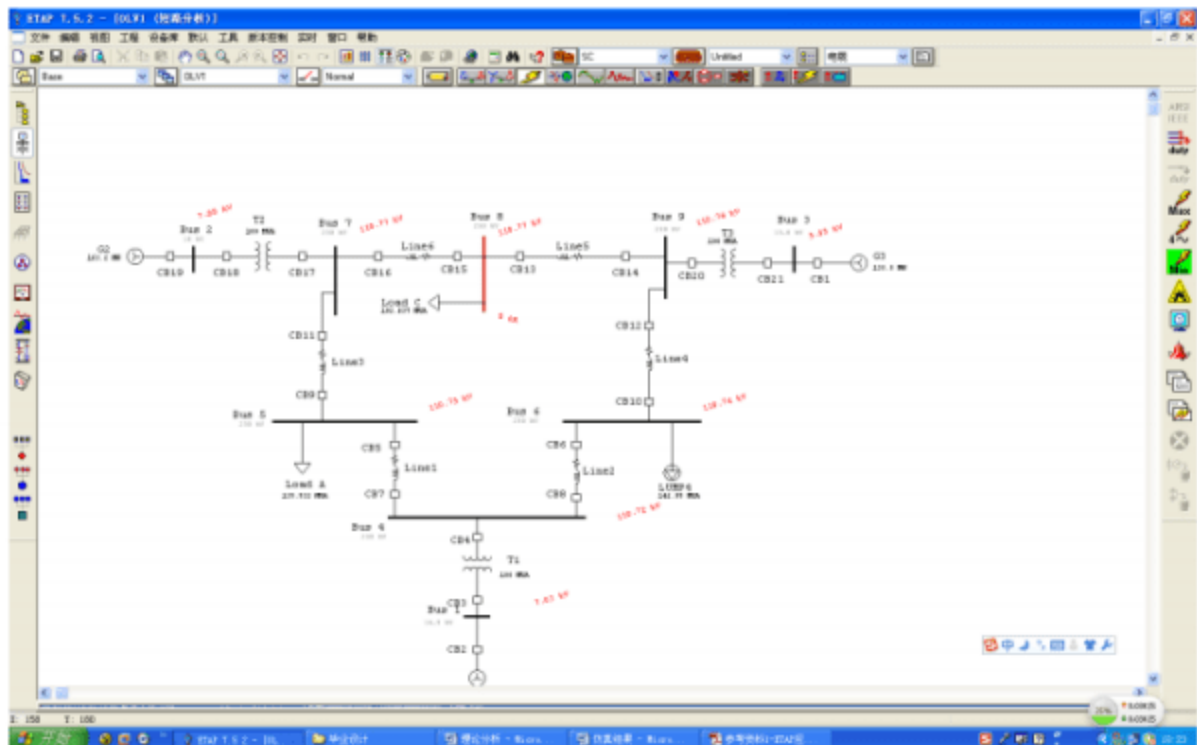
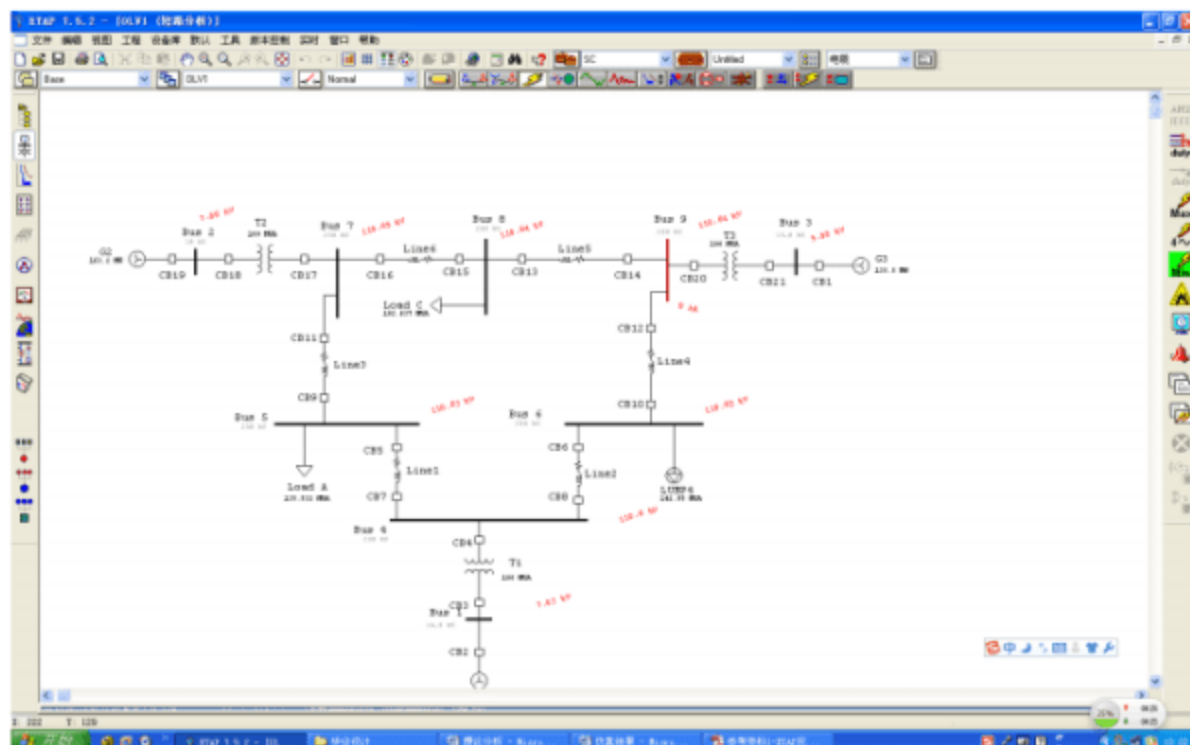


图 3-7 两相短路分析结果界面

Fig3-7 Two-phase short circuit analysis interface

3.2.3 母线 9 两相短路仿真分析

按以上方法对母线 9 进行两相短路分析，分析结果如图 3-8 所示。



3-8 两相短路分析结果界面

Fig3-8 Two-phase short circuit analysis interface

3.3 小结

对于电力系统继电保护设计来讲，短路计算是十分重要的环节，但是短路计算涉及的计算量很大，极大的占用的工程人员的时间，我们应用 ETAP 软件便可简单的进行短路电流分析，利用 ETAP 软件模拟系统发生短路故障，并一目了然的得出各种运行方式的分析结果。ETAP 软件使得短路计算和继电保护两项电力系统运行和冠礼工作变得简便而富有效率，最大程度地降低了出错率，保证分析计算和继电保护配合的正确性。

4. 电力系统继电保护理论分析

4.1 本设计的保护配置

4.1.1 主保护配置

根据参数设置和灵敏度校验可得电流速断保护作为主保护。

4.2.2 后备保护配置

过电流保护作为后备保护和远后备保护。

4.2 保护的配合及整定计算

4.2.1 对保护 CB18的整定

①瞬时电流速断保护的整定计算

动作电流的整定

CB18 的最大三相短路电流 $I_{K.18.max}^{(3)} = 19.86\text{KA}$

取 $K_{rel}^I = 1.3$ 则保护 CB18的电流保护动作电流为

$$I_{op.18}^I = I_{K.18.max}^{(3)} K_{rel}^I = 19.86 \times 1.3 = 25.818\text{KA} \quad (4-1)$$

②过电流保护的整定计算

动作电流的整定

取 $K_{re} = 0.85$, $K_{rel}^{II} = 1.2$, $K_{ss} = 1.5$ 则保护 CB18电流保护的动作为

$$I_{op.18}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} K_{ss}}{K_{re}} I_{L.max} = \frac{1.2 \times 1.5}{0.8} \times 436.2 = 923.72\text{A} \quad (4-2)$$

动作时限 $t_{18}^{II} = t_{16}^{II} + \Delta t = 1.5\text{s}$

4.2.2 对保护 CB16的整定

①瞬时电流速断保护的整定计算

动作电流的整定

CB16 的最大三相短路电流 $I_{K.16.max}^{(3)} = 3.15\text{KA}$

取 $K_{rel}^I = 1.3$ ，则 CB16 的电流保护动作电流为

$$I_{op.16}^I = K_{rel}^I I_{K.16.max}^{(3)} = 3.15 \times 1.3 = 4.095\text{KA} \quad (4-3)$$

②过电流保护的整定计算

动作电流的整定

取 $K_{re} = 0.85$ ， $K_{rel}^{II} = 1.2$ ， $K_{ss} = 1.5$ ，则 CB16 的电流保护动作电流为

$$I_{op.16}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} K_{ss}}{K_{re}} I_{L.max} = 394.94\text{A} \quad (4-4)$$

动作时限 $t_{16}^{II} = t_{13}^{II} + \Delta t = 1\text{s}$

4.2.3 对保护 CB13 的整定

①瞬时电流速断保护的整定计算

动作电流的整定

CB13 最大三相短路电流 $I_{K.13.max}^{(3)} = 1.69\text{KA}$

取 $K_{rel}^I = 1.3$ ，则 CB13 的电流保护动作电流

$$I_{op.13}^I = I_{K.13.max}^{(3)} K_{rel}^I = 1.69 \times 1.3 = 2.197\text{KA} \quad (4-5)$$

②过电流保护的整定计算

动作电流的整定

取 $K_{re} = 0.85$ ， $K_{rel}^{II} = 1.2$ ， $K_{ss} = 1.5$ ，CB13 的电流保护动作电流为

$$I_{op.13}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} K_{ss}}{K_{re}} I_{L.max} = 155.44\text{A} \quad (4-6)$$

动作时限 $t_{13}^{II} = \Delta t = 0.5\text{s}$

4.3 小结

电力系统的各级调度部门，其整定计算^[7]的目的是对电力系统中已配置好的各种继电保护，按照具体电力系统的参数和运行要求，通过分析计算分析给出所需的各项整定值，使全系统各种继电保护有机协调地布置，正确的发挥作用。

5. 电力系统继电保护 ETAP仿真

5.1 电流互感器和继电器的选型

5.1.2 电流互感器的变比的确定

根据第 3 章的潮流分析可知，系统正常运行情况下，流过 CB16 的电流为 186.5A，则电流互感器的一次侧电流可以选为 200A，而电流互感器的二次侧电流为 5A，则可以确定变比为 $200:5=40:1$ ，在母线 7 和保护 CB16 之间添加电流互感器和过电流继电器，ETAP 设置电流互感器参数如图 5-1 所示。



图 5-1 电流互感器参数设置

Fig5-1 Current transformer parameters

5.1.2 继电器的选型和参数设置

1. 对过流继电器控制进行设置，让其控制保护 CB16 的开断，参数设置如图 5-2 所示。
2. 在设备库中选择继电器生产厂家和型号，如图 5-3 所示。



图 5-2 继电器设置

Fig5-2 Relay set

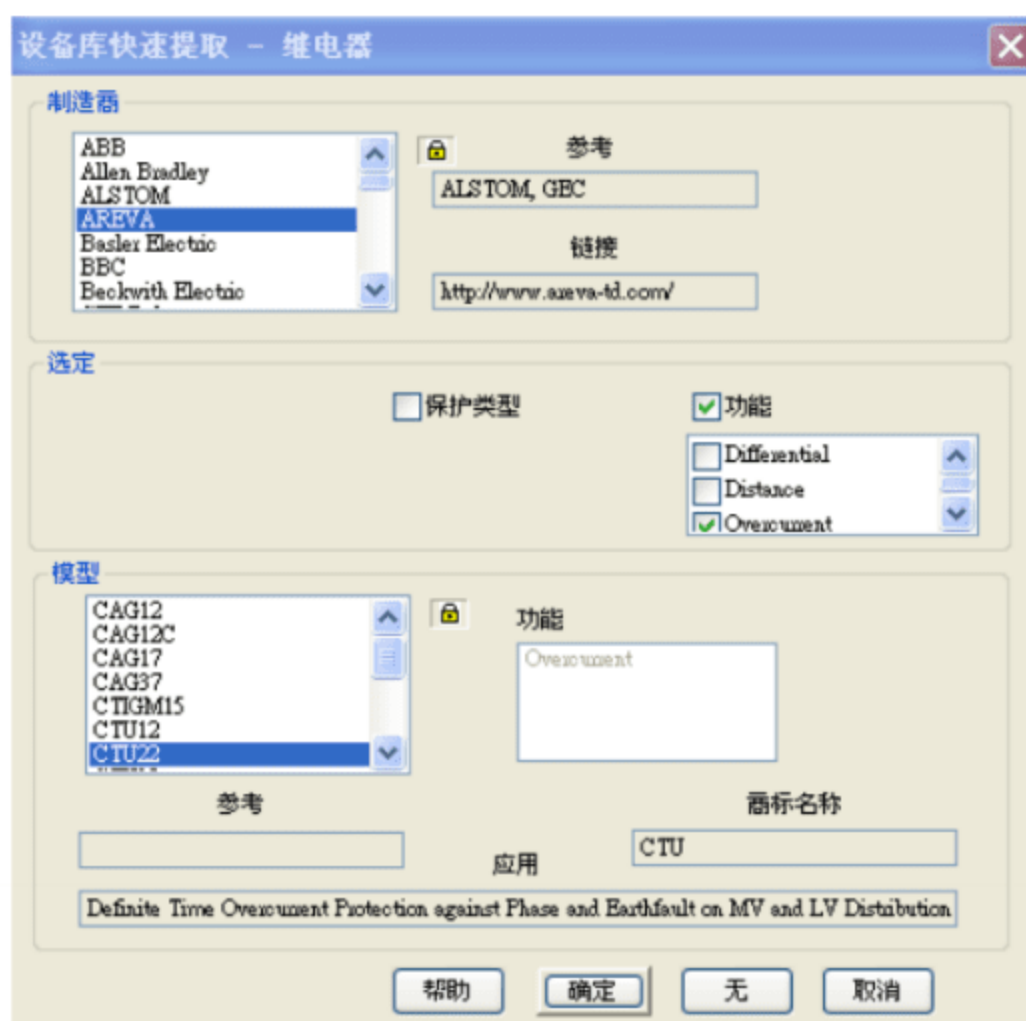


图 5-3 继电器的生产厂家和型号

Fig5-3 Relays manufacturer and model

3. 根据第 4 章的整定计算设置保护 CB16 的动作电流和动作时限，其中包括瞬时速断电流保护和过电流保护的设置，如图 5-4 所示。

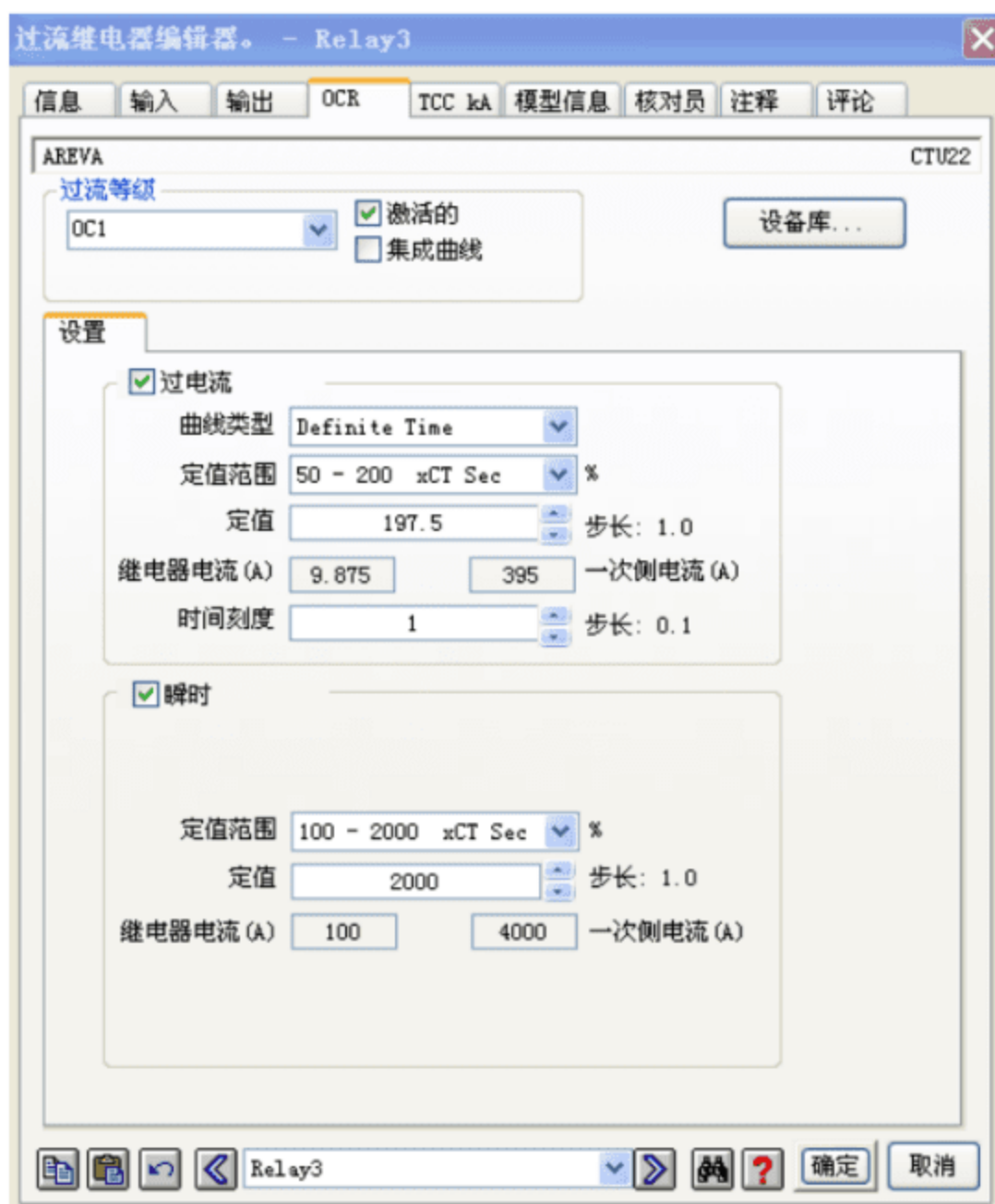


图 5-4 继电器动作电流和动作时限的设置

Fig5-4 Relay current limit setting and action

5.2 ETAP 继电保护仿真分析

5.2.1 瞬时速断保护和过电流保护的配合

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 Bus8 三相短路：单击“案例分析工具栏”中“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 Bus8 上，单击鼠标，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，根据三相短路分析结果可知，继电器的过电流保护动作，显示结果如图 5-5 所示。

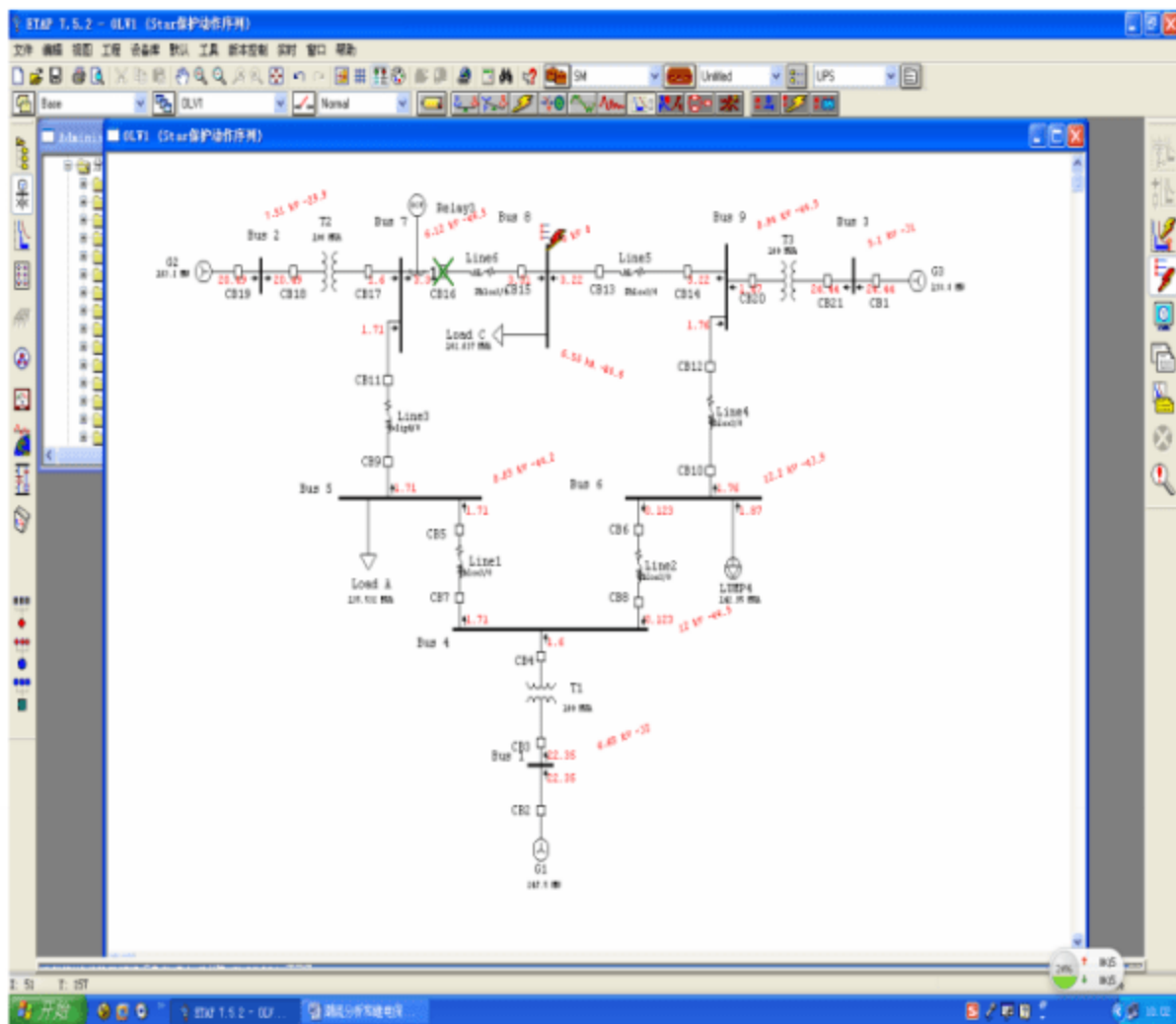


图 5-5 Bus8 三相短路的保护

Fig5-5 Three-phase short-circuit protection of Bus8

3. 此时点击左侧“Star1”按钮，则可以看到动作曲线，如图 5-6 所示。

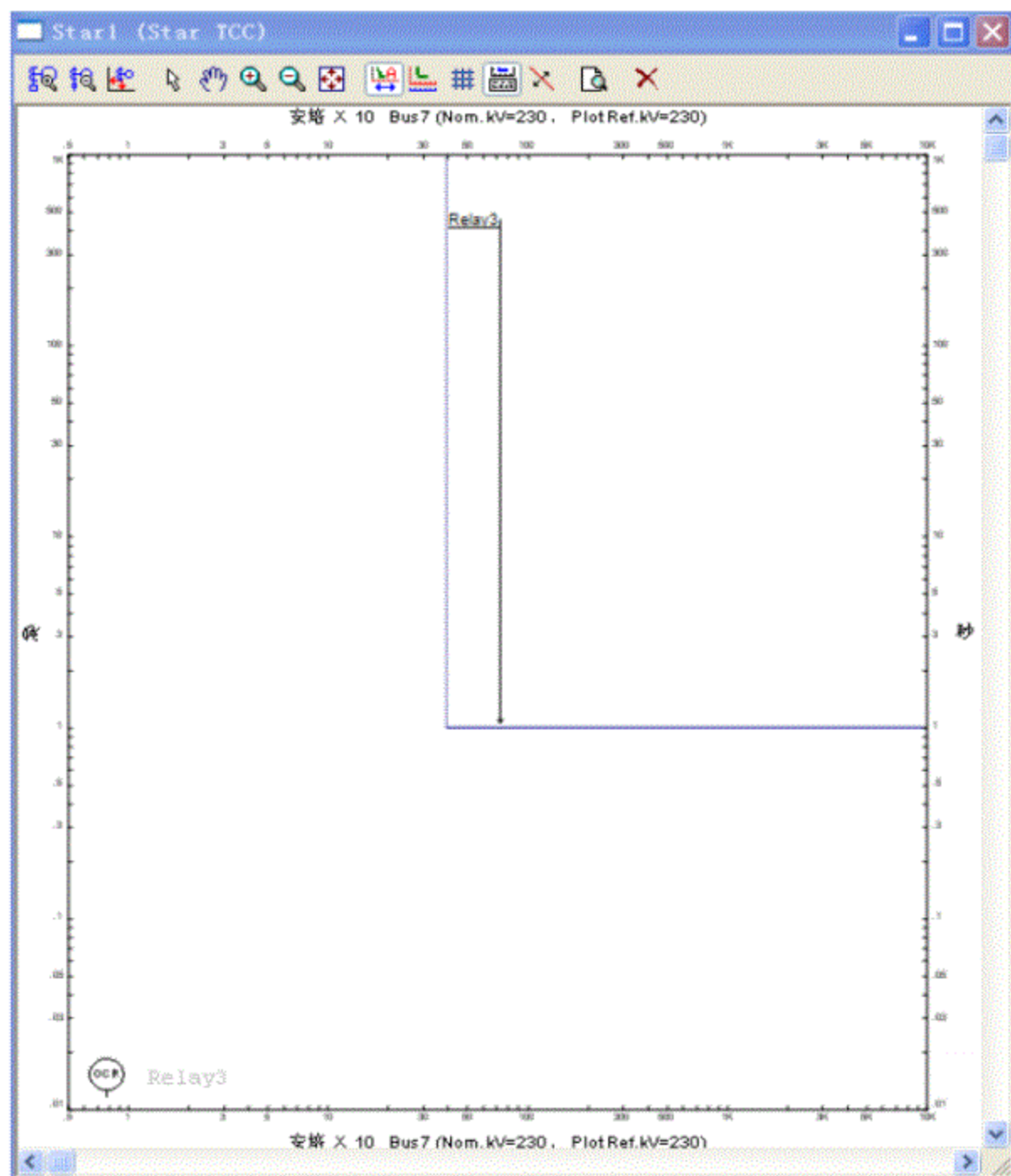


图 5-6 过电流保护动作曲线

Fig5-6 Over-current protection action curve

4. 在传输线 Line6 和保护 CB16进行三相短路，根据短路电流可知，继电器执行瞬时速断保护，运行结果如图 5-7 所示。

5. 点击左侧的“Star1”按钮，则可以看到动作曲线，如图 5-8 所示。

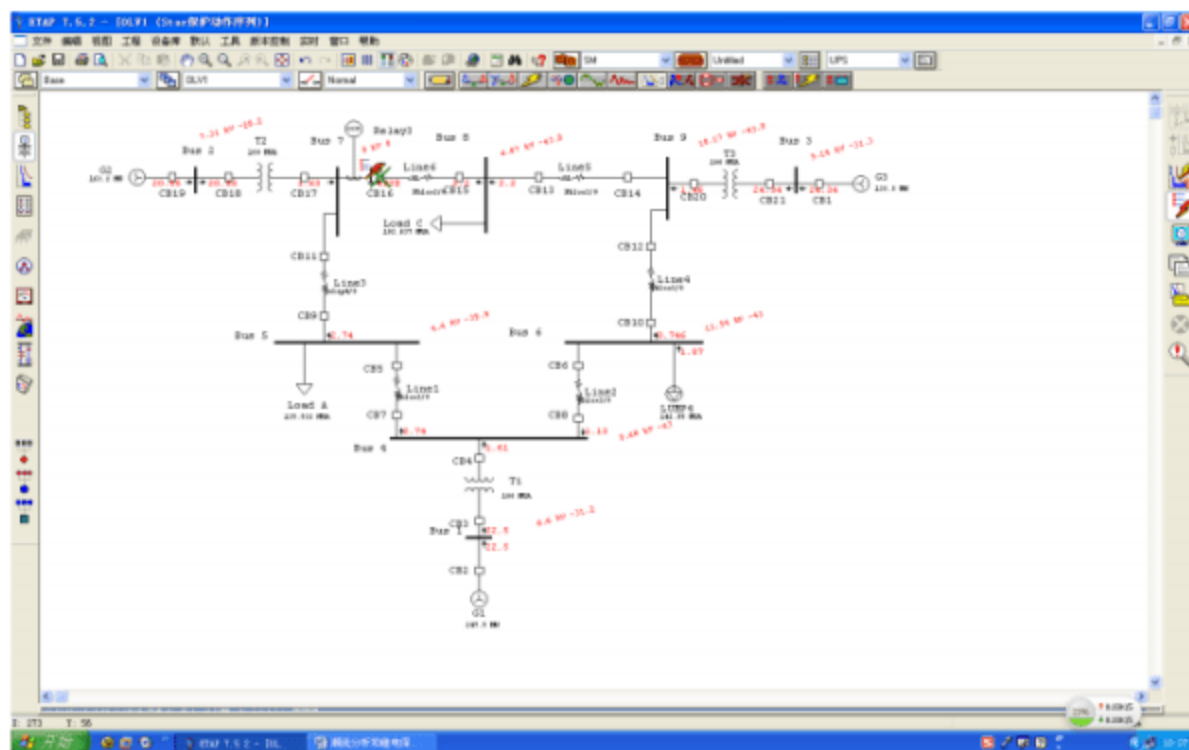


图 5-7 三相短路保护的结果

Fig5-7 The results of the three-phase short-circuit protection

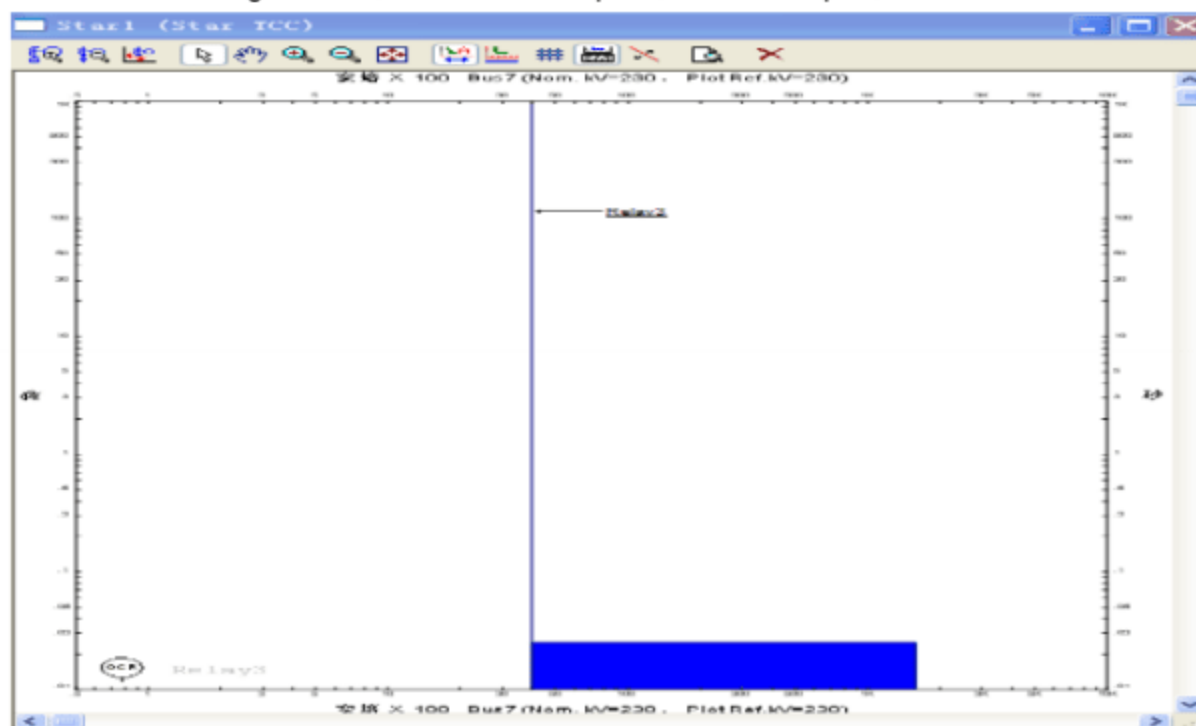


图 5-8 瞬时速断保护的動作曲线

Fig5-8 Instantaneous instantaneous protection action curve

5.2.2 瞬时速断保护的仿真

1. 对继电器进行设置，仅仅选中瞬时速断保护，对其进行 ETAP 仿真，设置如图 5-9 所示。



图 5-9 继电器参数设置界面

Fig5-9 Relay parameter setting interface

2. 对传输线 Line6 和保护 CB16 之间进行三相短路，根据三相短路电流可知，继电器相应的动作，将保护 CB16 打开，运行结果如图 5-10 所示。

3. 对 Bus8 进行三相短路，根据三相短路电流可知，没有达到继电器瞬时速断保护的動作電流，继电器不动作，运行结果如图 5-11 所示。

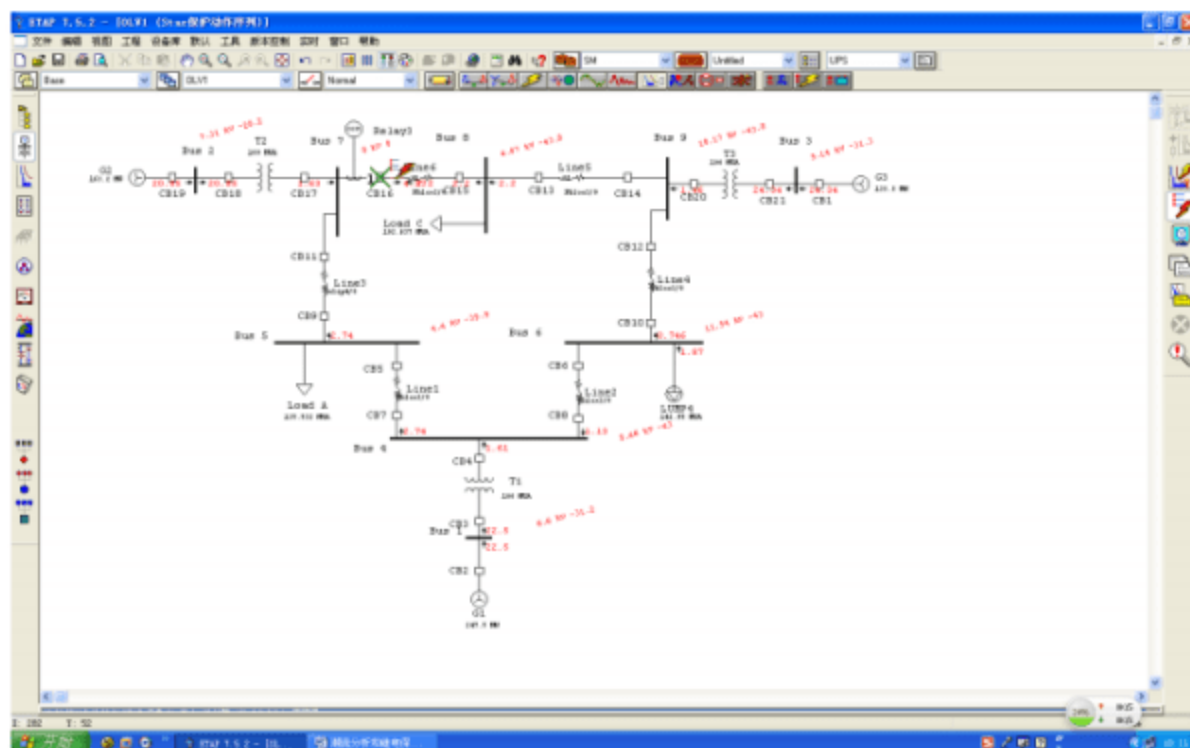


图 5-10 继电器动作结果

Fig5-10 Relay results

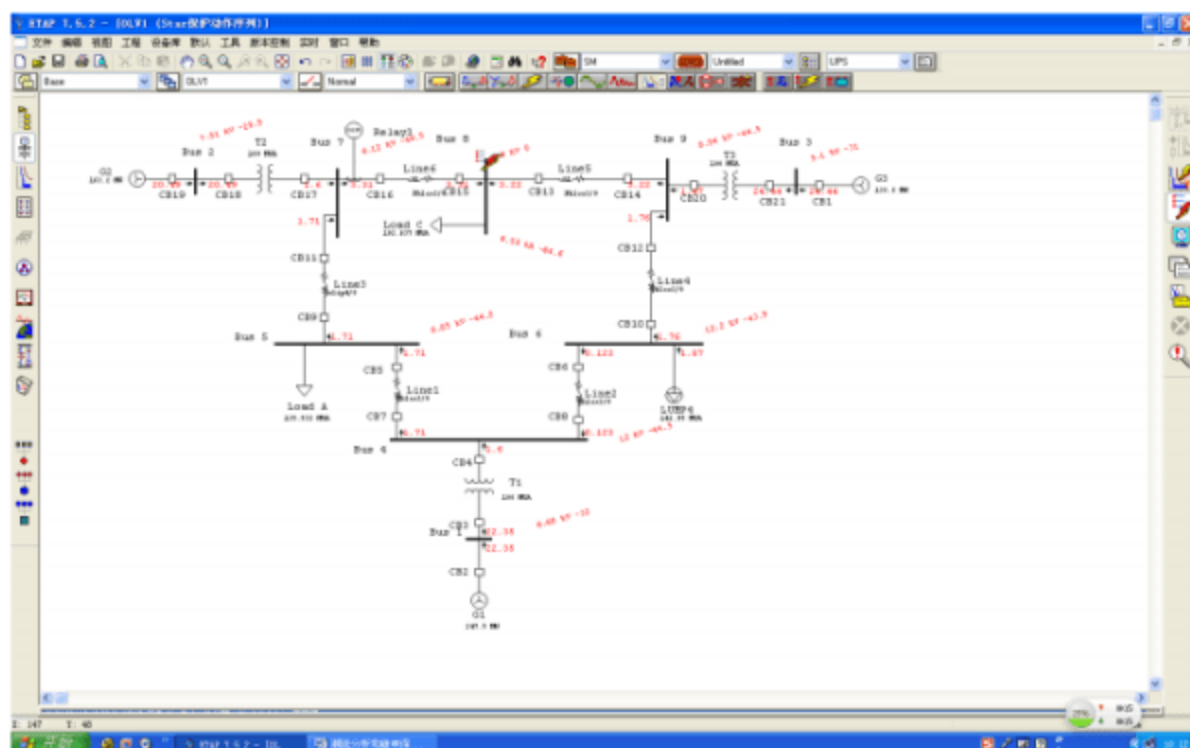


图 5-11 继电器动作结果

Fig5-11 Relay results

5.2.3 过电流保护的仿真

1. 对继电器进行设置，仅仅选中过电流保护，对其进行 ETAP 仿真，设置如图 5-12 所示。

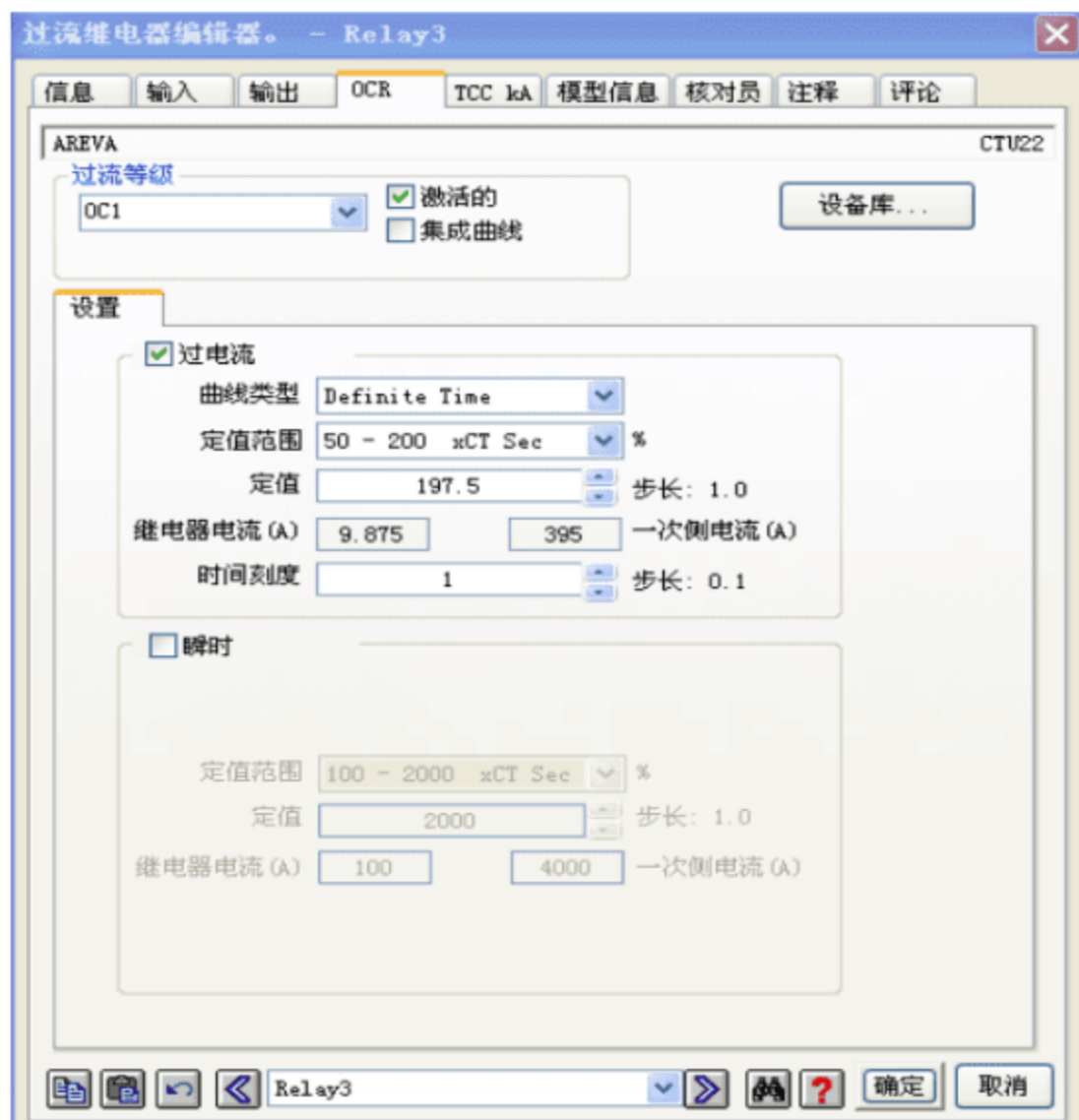


图 5-12 继电器参数设置界面

Fig.5-12 Relay parameter setting interface

2. 对 Bus8 进行三相短路，根据三相短路电流可知，达到了继电器过电流保护的的动作电流，继电器进行动作，相应的将保护 CB16 打开，仿真结果如图 5-13 所示。

3. 对 Bus4 进行三相短路，根据三相短路电流可知，没有达到继电器过电流保护的的动作电流，继电器不动作，运行结果如图 5-14 所示。

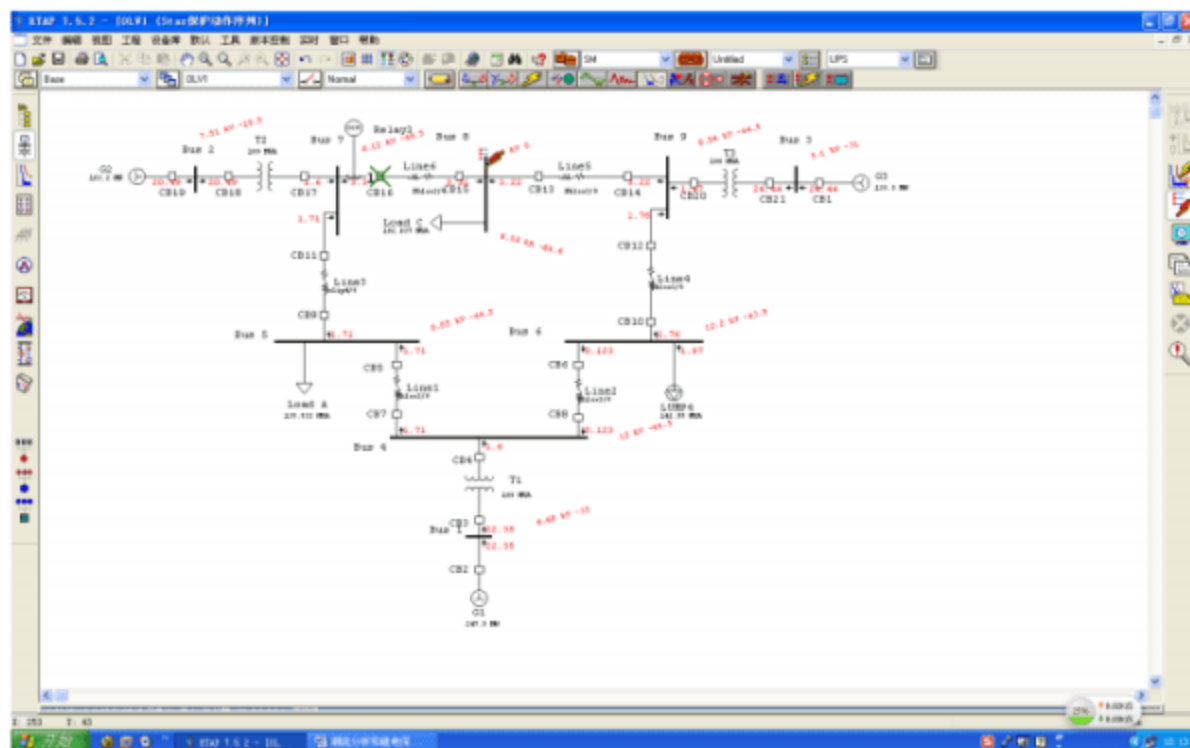


图 5-13 三相短路时过电流保护结果

Fig.5-13 Over-current protection phase short circuit results

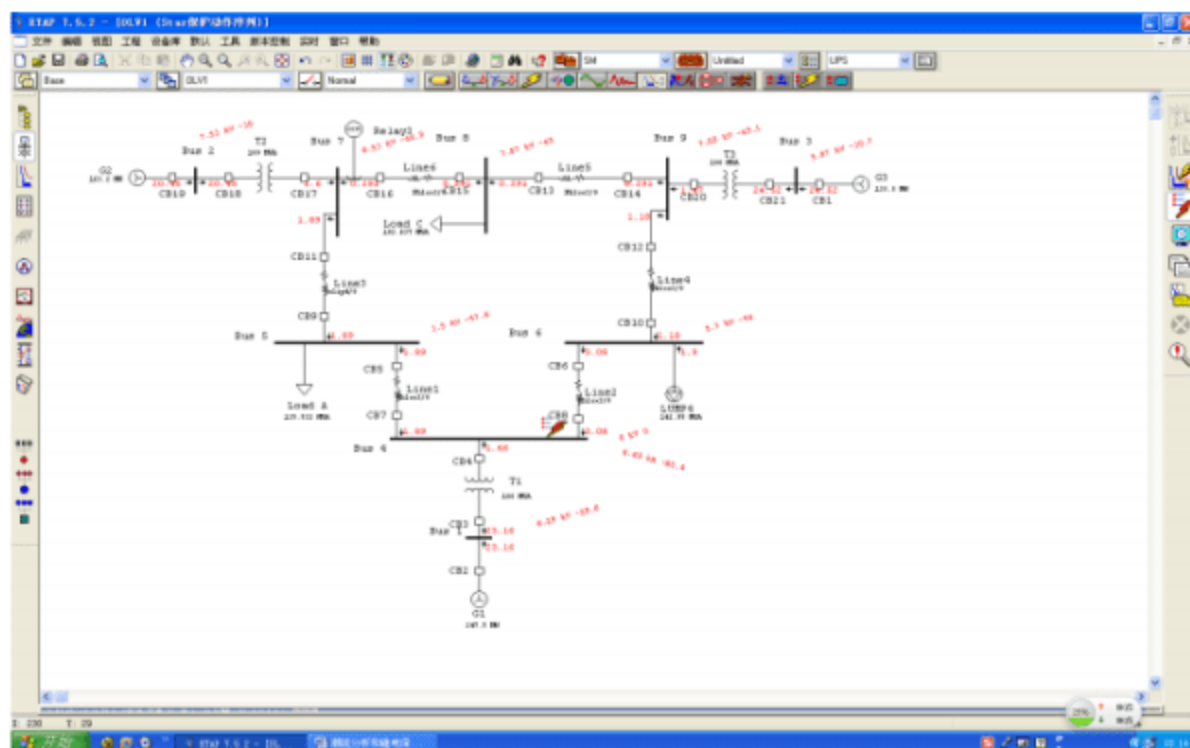


图 5-14 三相短路时过电流保护结果

Fig.5-14 Over-current protection phase short circuit results

5.3 小结

ETAP软件的继电保护^[8]配合和选择模块可以保存所有设备和馈线的电流保护的和 TCC曲线,应用 ETAP软件的保护配合模块,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。ETAP软件的继电保护功能可以大大提高整定效率,输出的 TCC曲线精确,用 ETAP软件对继电保护配合进行分析和选择可显著地提高工作效率和质量。