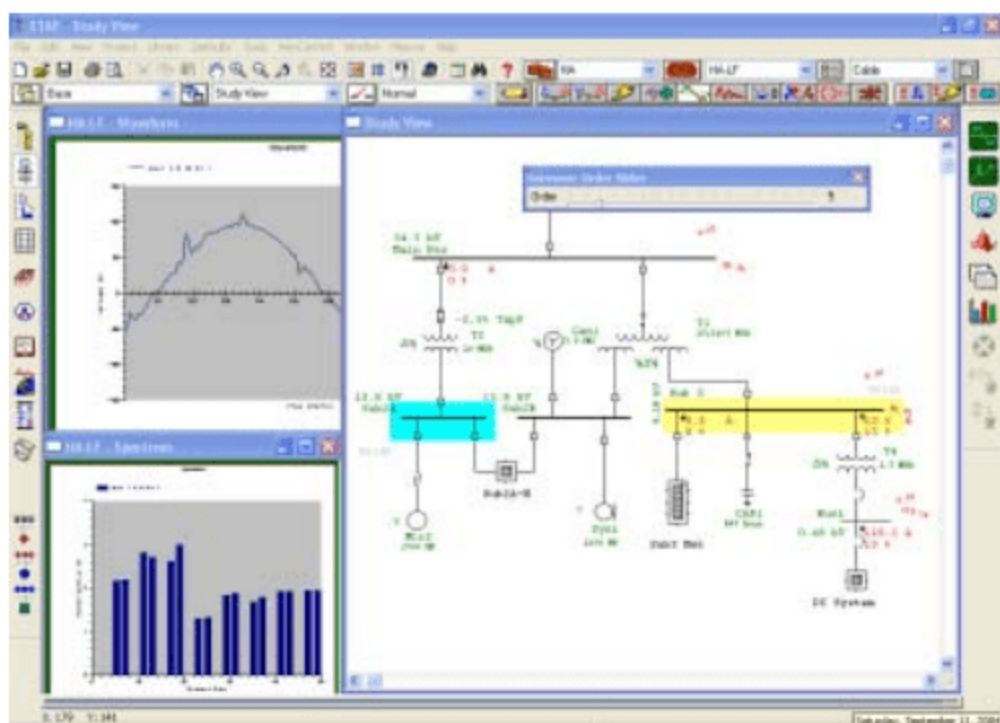


第 27 章

谐波分析

(Harmonic Analysis)

因为电力电子设备的广泛应用，如变速驱动器，后备电源(UPS)，静态功率转换器等，电力系统电压和电流质量已经严重影响到很多领域。在这些领域中除了基频外还有其它不同的频率存在会使电压和电流波形产生畸变。通常是基波的整数倍，叫做谐波。除了电力电子设备外，一些非线性设备或饱和变压器，荧光灯和双向离子变流器等也是影响电力系统质量的因素。



电力系统谐波会导致一系列问题如设备过热，功率因数降低，设备性能破坏，保护设备不正常操作，通讯设备的干扰等，在这些情况下很可能导致电路共振，从而引发电力设备绝缘故障和其它设备的严重损坏。更严重的是一个区域的谐波电流会渗透到系统电网或其它领域从而导致整个系统的电压和电流畸变。随着电力系统中日益增多的使用电子设备，这种现象是电力质量方面主要考虑的问题。

可通过计算机仿真对电力系统谐波现象进行模拟和分析。ETAP 谐波分析程序为你提供了精确模拟电力设备模型的最好工具，模拟依赖于频率的模型，非线性或其它在谐波源存在的情况下具有的特性。该程序有两种分析方法：谐波潮流和谐波频率扫描，都是电力系统谐波分析中最流行并有效的分析方法。综合使用这两种方法，可计算不同的谐波并与工业标准限制相比较，就可发现存在的和潜在的电力质量问题，以及与谐波相关的安全性问题。发现问题的原因并设计不同的减缓问题和校正问题的方案。

ETAP 谐波潮流分析的主要功能如下：

- 普通和集成数据库
- 三维数据结构，包括无限的图形显示、无限配置和多种数据修正版本
- 环形，放射型或综合型系统
- 带有多平衡母线的系统
- 带有电岛子系统的系统
- 有零阻抗支路的系统(母连开关)
- 有带电母线和支路的系统
- 根据运行温度自动调整电缆/线路电阻
- 根据容限自动调整变压器阻抗
- 根据容限自动调整限流电抗器阻抗
- 多种负荷类型
- 负荷调整系数
- 完整的基本潮流计算
- 基本潮流的自动变压器带载分接头设定
- 依赖于频率的转子电机阻抗模型
- 模拟非线性和依赖于频率的电缆/线路以及变压器阻抗
- 其它电力系统设备和负荷模型
- 变压器相移对谐波的影响
- 电机和变压器绕组接法和接地形式对谐波的影响
- 谐波电流输入方法
- 正序、负序和零序谐波
- 谐波次数可达 73 次
- 谐波电压源
- 谐波电流源
- 用户可扩展的谐波源库
- 根据设备类型分类的用户可选择的谐波源
- 以 IEEE 为标准的不同谐波指标计算
- 母线电压和支路电流的总 RMS 值
- 母线电压和支路电流的总 ASUM 值
- 母线电压和支路电流的总谐波畸变

- 母线电压和支路电流的通讯干扰因数
- 支路电流的 I^2T 乘积
- 不同形式的嵌入式谐波滤波器
- 根据不同标准的自动滤波器规格计算
- 检验并标识滤波器过载
- 检验谐波滤波器的性能
- 分析结果的单线图显示
- 显示基本潮流，总和单个谐波畸变的滑动条
- 查看并打印电压和电流波形图
- 查看并打印电压和电流频谱图
- 输入数据，基本潮流结果，电压和电流谐波指标的文本报告，谐波电压和电流表格
- 可预设定格式的 Crystal™ 报告
- 标识超过母线总体和单个谐波畸变极限的情况
- 变压器额定 k 因子
- VTHD, VIHD, 变压器, 滤波器和电缆的自动报警
- 单线图中显示电容器和滤波器电流
- 基于 VFD, UPS, 充电器, 和逆变器等设备参数的谐波源.

ETAP 谐波频率扫描分析的主要功能如下：

- 相同系统和设备模型的谐波潮流分析和基本潮流分析
- 依赖于频率的模型的转子电机阻抗
- 非线性和依赖于频率的模型的电缆/线性和变压器阻抗
- 依赖于频率的模型的其它电力系统设备和负荷
- 变压器相移
- 电机和变压器绕组连接和接地方式
- 不同形式的嵌入式谐波滤波器
- 根据不同标准的滤波器规格计算
- 用户自定义的频率扫描范围和步长
- 分析结果的单线图显示
- 在所选择的频率下用滑条显示母线输入阻抗幅值和相角
- 可查看并打印的母线输入阻抗图形
- 可查看并打印的母线输入阻抗相角图形
- 输入数据、基本潮流结果的文本报告和母线输入阻抗幅值和相角的表格
- 报告谐振的频率和幅值

27.1 分析工具条(Study Toolbar)

处于谐波分析模式中时，谐波分析工具条显示在屏幕上。该工具条的功能键如下：



运行谐波潮流计算(Run Harmonic Load Flow)

在谐波分析模式中时，从分析案例工具条中选择一个分析案例。点击运行谐波潮流来进行谐波潮流分析。如果输入报告管理栏中的输出文件名为 Promopt，会有一个对话框弹出，你可以定义输出报告的名字。谐波潮流分析结果显示在单线图中可通过输出报告格式和图形格式进行查看。

运行频率扫描计算(Run Frequency Scan)

从分析参数工具条中选择分析参数后，点击运行频率扫描进行谐波频率扫描分析。如果输入报告管理栏中的输出文件名为 Promopt，会有一个对话框弹出，你可以定义输出报告的名字。和谐波潮流分析一样，结果显示在单线图中可通过输出报告格式和图形格式进行查看。

显示选项(Display Options)

点击显示选项按钮设定单线图的显示选项，更多信息请见显示选项部分

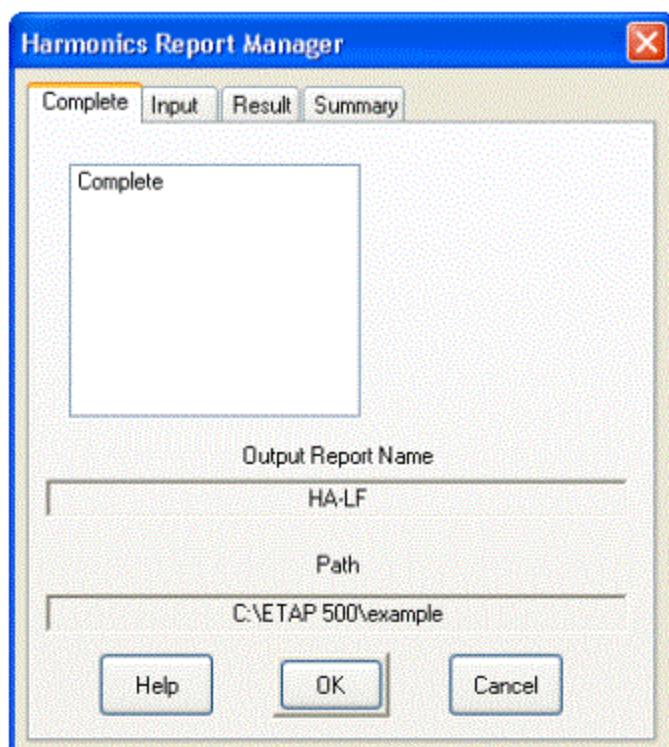
报警窗口(Alert View)

完成谐波潮流分析或谐波频率扫描后，点击此按钮将打开报警窗口，其中将列举所有超越边界和临界条件设置的设备。

谐波分析报告管理器(Report Manager)

点击报告管理器按钮选择查看输出报告的格式。谐波分析报告有两种格式：ASCII 文本格式和 Crystal™报告。

报告管理器有四页(完整属性页、输入属性页、结果属性页和总结属性页)，以两种形式查看输出报告的不同部分。Crystal™ 报告格式显示在报告管理器的每页上。



预设定的 Crystal™报告名称名有：

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• 调整• 支路零序阻抗• 支路• 母线• 电缆• 完全• 概述• 滤波器• 谐波数据库• 谐波源• 阻抗• 线路• 电机• 电抗器 | <ul style="list-style-type: none">• SVC• 变压器• 潮流分析报告• 结果• 摘要• 频率扫描报警• 完全报警• 临界报警• 边界报警• 滤波器过载• VIHD（电压单个谐波畸变）报告• VTHD（电压总谐波畸变）报告 |
|---|---|
- 可从下框中选择输出报告文件。



该复选框包括了所有的当前程序文件夹中的输出文件，设定为相同的扩展名。点击输出报告框旁边的输出报告列表按钮就可以选择不同的输出文件扩展名了。

谐波潮流分析的输出报告扩展名为.HA1。

谐波分析图形(Harmonic Analysis Plots)

点击谐波分析图形按钮选择输出图形文件中输出的图形和曲线。图形文件名与显示在输出报告列表中的输出文本文件名相同。谐波潮流分析图形文件的扩展名为.hfp。频率扫描的图形文件扩展名为.fsp。

中断当前计算(Halt Current Calculation)

该图标通常情况是灰色的。当谐波潮流分析或谐波频率扫描启动时，该图标才被激活呈红色。点击它会中断当前计算。如果在计算结束前中断计算，单线图和图形都无法显示，输出报告也是不完整的。

获取在线数据(Get On-Line Data)

如果你所用的计算机安装的 ETAP 具有在线功能，可以复制在线数据到当前计算中。

获取存档数据(Get Archived Data)

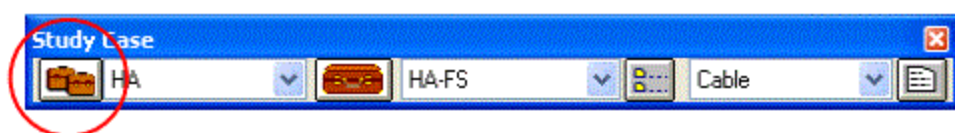
如果你所用的计算机安装的 ETAP 具有在线功能，可以复制存档数据到当前计算中。

27.2 分析案例编辑器(Study Case Editor)

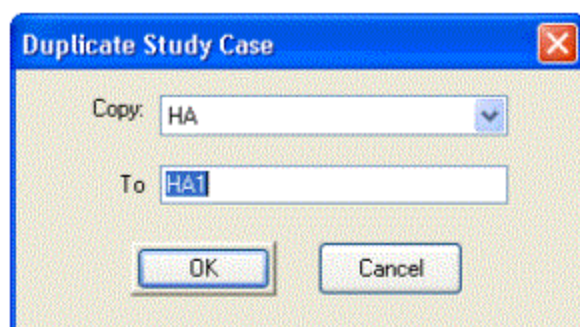
谐波分析分析案例编辑器包括精度控制变量，系统负荷条件，报告选项，谐波源模型选项和设备图形选项。在 ETAP 中可以创建并保存无穷多个分析案例。在不同的分析案例之间可轻松切换无需每次重新设定选项。该功能可大大节省你的时间。

作为 ETAP 多维数据库概念的一部分，分析案例可用于三个主要系统设备的任意组合，也就是适用于任何配置状态，单线图图形显示和基本/修正数据。

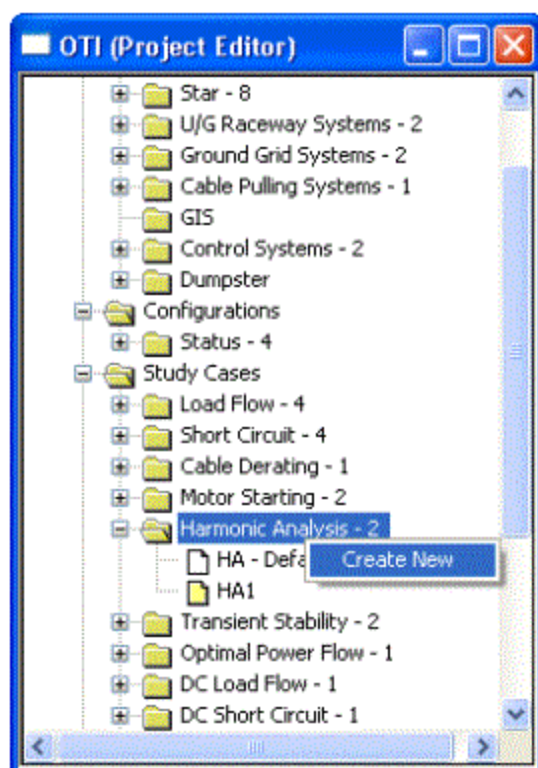
当处于谐波分析界面下时，你可以点击谐波分析案例工具条中的分析案例按钮访问谐波分析案例编辑器。页可以从项目窗口中点击谐波分析案例文件夹访问此编辑器。



有两种方法新建分析案例. 点击在分析案例工具条上的新建分析案例按钮, 如上图所示. 复制分析案例对话框将打开, 在此对话框中可指定现有分析案例和新案例的名称.



您也可以在项目编辑窗口中新建一个案例. 在谐波分析案例文件夹上点击鼠标右键并选择新建, ETAP 将创建一个默认分析案例的复本并添加到谐波分析案例文件夹中.

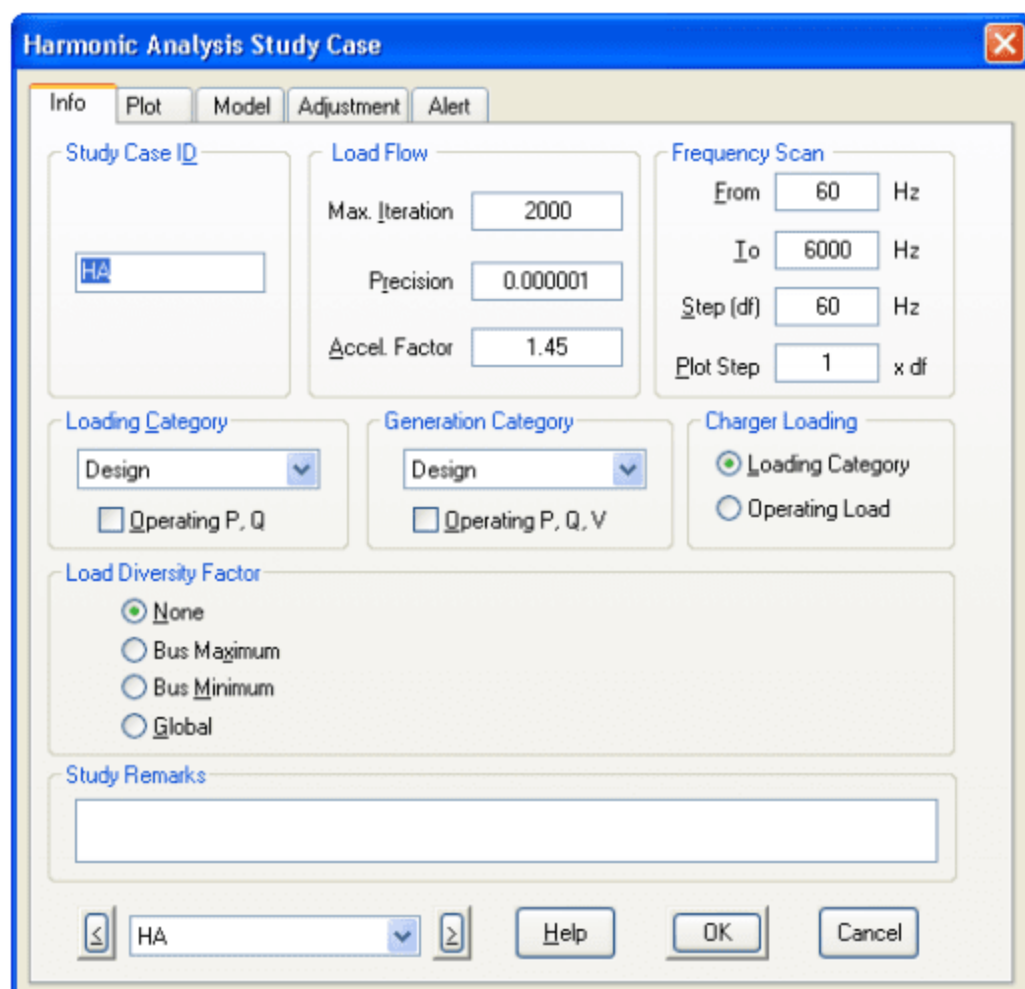


处于谐波分析模式中时，点击分析案例工具条中的“分析案例”就可以访问谐波分析编辑器了。也可以从项目视图中点击分析案例文件夹中的谐波分析子文件夹来访问该编辑器。

谐波分析案例参数编辑器由三页组成：信息属性页、模型属性页和图形属性页。

信息属性页(Info Page)

在该属性页中设定一些一般的精度参数和信息：负荷条件、报告选项和分析参数信息。



The dialog box titled "Harmonic Analysis Study Case" contains several tabs: Info, Plot, Model, Adjustment, and Alert. The "Info" tab is active and displays the following settings:

- Study Case ID:** A text field containing "HA".
- Load Flow:**
 - Max. Iteration: 2000
 - Precision: 0.000001
 - Accel. Factor: 1.45
- Frequency Scan:**
 - From: 60 Hz
 - To: 6000 Hz
 - Step (df): 60 Hz
 - Plot Step: 1 x df
- Loading Category:** A dropdown menu set to "Design" with a checkbox for "Operating P, Q".
- Generation Category:** A dropdown menu set to "Design" with a checkbox for "Operating P, Q, V".
- Charger Loading:** Radio buttons for "Loading Category" (selected) and "Operating Load".
- Load Diversity Factor:** Radio buttons for "None" (selected), "Bus Maximum", "Bus Minimum", and "Global".
- Study Remarks:** A large text area for notes.

At the bottom, there are navigation buttons (Previous, Next), a "Help" button, and "OK" and "Cancel" buttons. A small dropdown menu at the bottom left shows "HA".

分析案例标识(Study Case ID)

分析案例标识显示在输入区。删除旧的标识，输入新的就可以改变分析案例的名字了。分析案例标识不超过 12 个字母，使用编辑器底部的浏览键，可以从一个分析案例切换到另一个分析案例。

潮流分析(Load Flow)

这些设定用于基本潮流计算方案控制，可用于谐波潮流和谐波频率扫描分析。

最大迭代次数(Max. Iteration)

输入最大迭代次数，在迭代次数达到最大迭代次数时仍无法收敛，程序会停止并通知用户。推荐值为 2000。

精确度(Precision)

输入精确度，用于检验基本潮流收敛程度。该值决定了你计算方案的精确度。默认值是 0.000001。

加速因数(Accel. Factor)

输入基本潮流计算的精度加速因数。典型值在 1.2 和 1.7 之间，默认值是 1.45。

频率扫描(Frequency Scan)

该值只用于谐波频率扫描计算。

起始值(From)

设定频率扫描的起始频率 HZ。默认值是 系统的基波频率。

终止值(To)

设定终止频率 HZ。该值应比初始频率大而且是系统基波频率的整数倍。

步长(df)(Step (df)

确定频率步长。该值是在谐波频率扫描分析中相邻两个频率点之间的间隔。是一个正整数。

画图步长(Plot Step)

该值决定了频率扫描图形的精度。这个值越小图形就越平滑，但记录的数据就越多。默认值是 1，就是每个谐波频率扫描分析的计算点都要绘成图形。

负荷类型>Loading Category)

在十个负荷类型中选择一个。无论选择哪种类型，ETAP 都会为指定的电动机和其它负荷使用设定的负荷百分数。注意，你可以从负荷设备编辑器中的铭牌属性页或是负荷页或额定值属性页中为十种类型设定负荷条件。谐波滤波器的负荷条件由它的参数计算得出。

运行 P, Q (Operating P, Q)

如果你的 ETAP 包含了在线功能，此选项将为激活状态。当此框被检测时，运行负荷将从在线数据中进行更新或者先前的潮流分析结果将作为后面潮流分析的初始值。

发电类型 (Generation Category)

为当前的潮流分析选择发电类型。选择其中一种类型后，ETAP 将使用所选类型对应的发电机控制，此类型可在发电机编辑器的额定值属性页中设置。发电机控制将根据发电机运行模式而不同。发电模式可以在发电机编辑器的信息属性页中选择。

下表所示为发电控制对应的发电模式。

模式	发电类型控制
平衡节点	%V 和相角
电压控制	%V 和 MW
无功功率控制	MW 和 MVAR
功率因数控制	MW 和功率因数

运行 P, Q, V (Operating P, Q, V)

如果你的 ETAP 包含了在线功能，此选项将为激活状态。当此框被检测时，运行负荷将从在线数据中进行更新或者先前的潮流分析结果将作为后面潮流分析的初始值。

充电器负荷(Charger Loading)

负荷类型(Load Category)

选择该选项使用在充电器编辑器的负荷属性页中定义的有功和无功。

运行负荷(Operating Load)

选择该选项使用在充电器编辑器的运行负荷部分中定义的有功和无功。注意，如果选择该选项，应先运行一个直流潮流计算来确定充电器负荷。

负荷调整系数(Load Diversity Factor)

应用相应的负荷调整系数到基本潮流计算和谐波潮流和频率扫描分析中，选项有：

没有(None)

选择该选项时，使用所选负荷类型中输入的负荷百分数，并不考虑到负荷调整系数。

母线最大值(Bus Maximum)

选择该选项时，直接与每条母线相连的电动机和其它负荷将乘以母线最大调整系数。通过这个选项，可以进行每条母线有不同最大调整系数时的谐波分析分析。当考虑到将来电力系统负荷和每条母线有不同的最大负荷时，该选项有很大作用。

母线最小值(Bus Minimum)

选择该选项时，直接与每条母线相连的电动机和其它负荷将乘以母线最小调整系数。通过这个选项，可以进行每条母线有不同最小调整系数时的谐波分析分析。在分析一些照明负荷条件的响应时，该选项很有用。

整个值(Global)

输入适用于所有恒定功率和恒定阻抗负荷的调整系数。选择该选项时，ETAP 将把所选负荷类型中所有的电动机和静态负荷乘以输入的电动机和静态负荷调整系数值。

恒功率 (Constant kVA)

恒功率负荷包括感应电机、同步电机、包含电机负荷的常规和不平衡等效负荷、UPS 和充电器。

恒阻抗 (Constant Z)

恒阻抗负荷包括静态负荷、电容器、谐波滤波器，电机驱动阀门、包含静态负荷的常规和不平衡等效负荷。

恒电流 (Constant I)

恒电流负荷包括带有持续电流负荷的不平衡等效负荷。

常规 (Generic)

常规负荷包括使用指数、多项式或全面模式模拟的等效负荷。

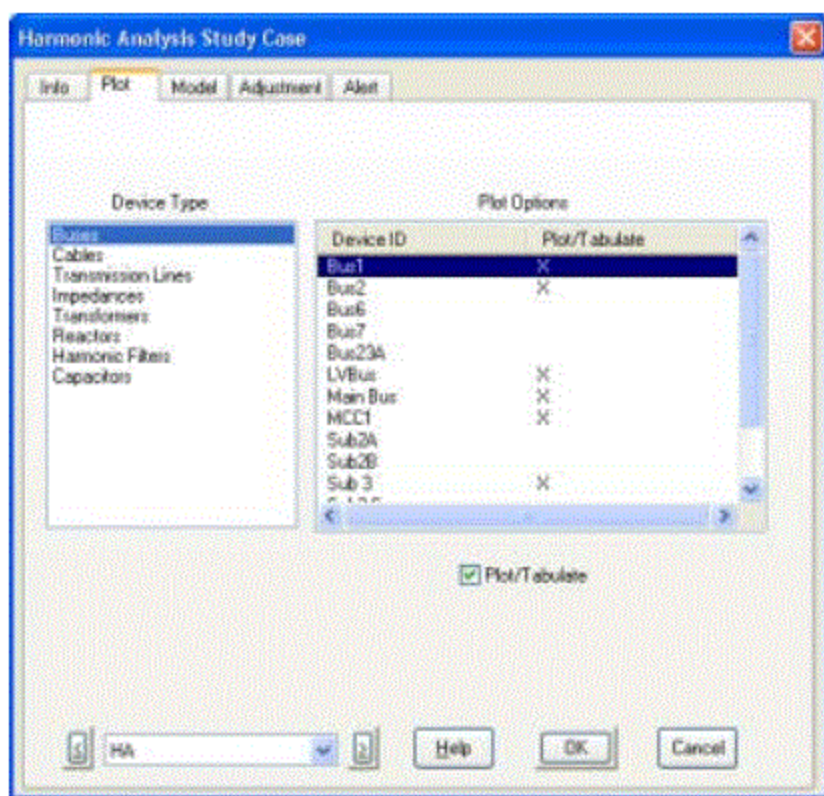
注意：电动机负荷调整系数是 125%说明所有母线的电动机负荷增加 25%的额定值。该值可大于也可小于 100%。

分析注释(Study Remarks)

在该注释框中输入不超过 120 个字符的信息。这些信息将打印在每页输出报告页眉的第二行，为每个分析案例提供信息。注意：页眉的第一行是对所有分析案例都适用的信息，在程序信息编辑器中输入。

27.1.1 图形属性页(Plot Page)

选择在单线图中要显示的设备名称和图形格式。该选项适用于谐波潮流和谐波频率扫描分析。



设备类型(Device Type)

从列表中选择设备类型。只有与所列举类型相关的设备才能绘成图形。

图形选项(Plot Options)

设备标识(Device ID)

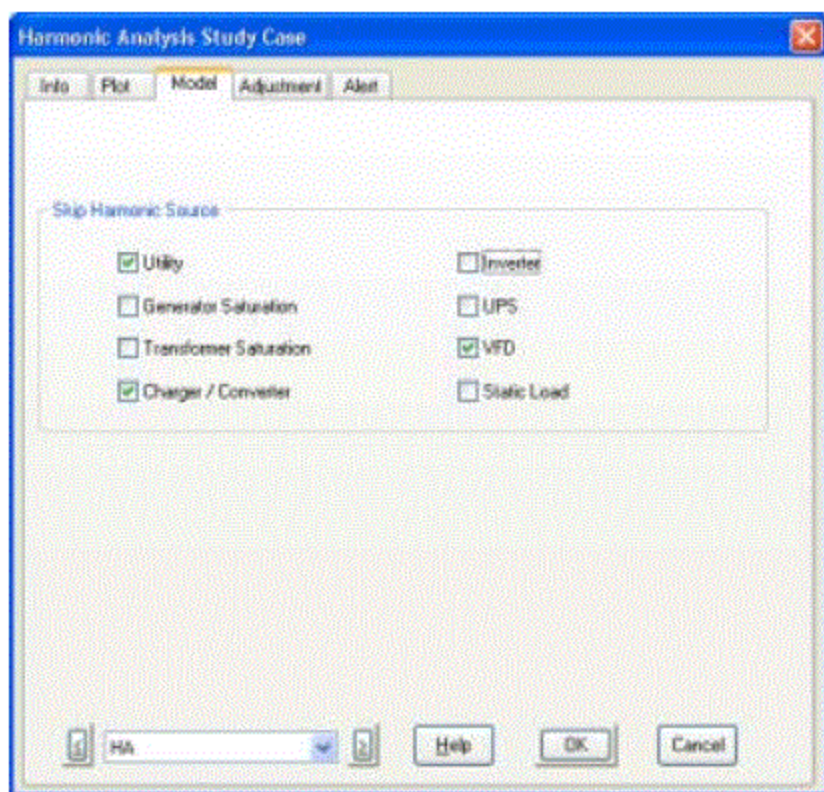
该表提供了给定设备类型的设备或设备列表。

图形/表格(Plot/Tabulate)

也可通过先选择一个设备或元件，然后点击该复选框来将设备包括在图形列表中。一个“X”就会出现在设备或元件栏后面。

27.1.1 模型属性页(Model Page)

在该属性页中选择不同类型设备的模拟模型。



跳过谐波源(Skip Harmonic Source)

在这部分中定义不作为谐波源模型的设备类型。定义的结果会影响到谐波潮流和谐波频率扫描分析。例如，一种设备被选作不作为谐波源模型，则所有这种设备在谐波潮流和谐波频率扫描分析中作为阻抗。

等效电网(Utility)

选择该复选框，则等效电网不对系统谐波产生影响。相对应的情况下，等效电网不产生谐波或谐波可以忽略。

发电机饱和(Generator Saturation)

选择该复选框，则所有同步发电机就不作为谐波源看待。相对应的情况下，发电机没有饱和，产生近似理想的电压。

变压器饱和(Transformer Saturation)

选择该复选框，则所有的变压器，无论二绕组的还是三绕组的，都不作为谐波源看待。

充电器/转换器(Charger/Converter)

选择该复选框，则所有的充电器和转换器设备都不作为谐波源看待。

逆变器(Inverter)

选择该复选框，则所有的逆变器设备都不作为谐波源看待。

UPS

选择该复选框，则所有的后备电源设备都不作为谐波源看待。

变频器(VFD)

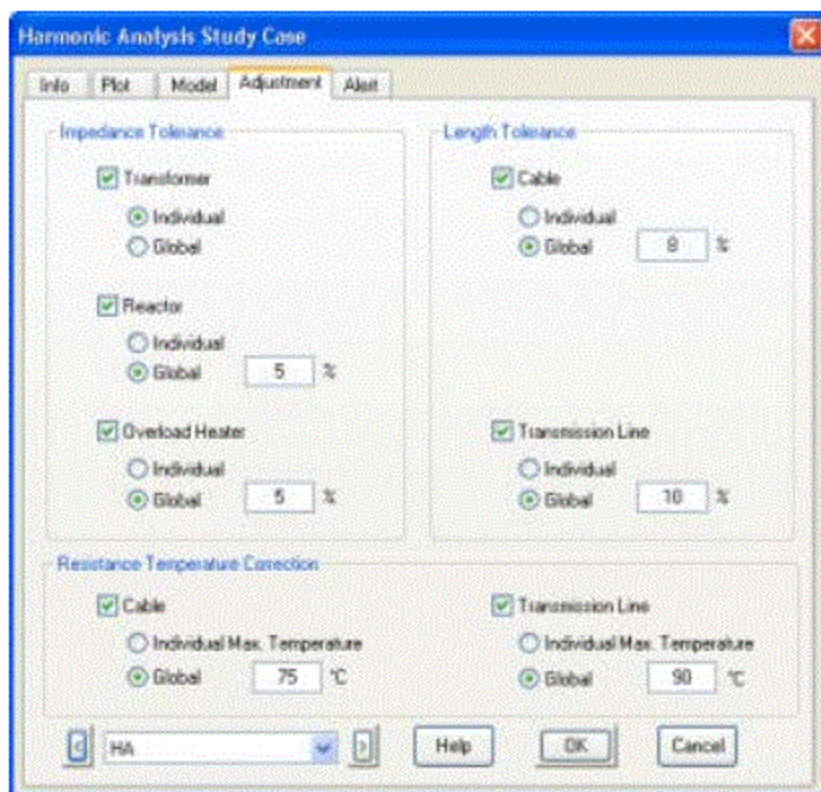
选择该复选框，则所有的变频器设备都不作为谐波源看待。

静态负荷(Static Load)

选择该复选框，则所有的静态负荷设备都不作为谐波源看待。

27.1.2 调整属性页 (Adjustment Page)

此属性页允许用户对长度、设备电阻和阻抗等参数进行容差调整。各个容差调节是基于独立设备百分数容差或一个全局百分数容差的形式表示。

**阻抗容差 (Impedance Tolerance)**

在这一组中可以为变压器、电抗器和过载发热器等设备指定阻抗容差。

变压器阻抗调整 (Transformer Impedance Adjustment)

此调节运行于变压器阻抗中。变压器阻抗调节应用于电动机起动计算中将会增加阻抗。例如，如果变压器阻抗为 12%，容差为 10%，则在潮流计算中调整后的阻抗是 13.2%，此种情况下将导致更高的损耗。

在变压器编辑器的额定值属性页中可以指定容差百分数。用户也可以在谐波分析案例编辑器的调整属性页中选择并设置一个全局阻抗调整容差。全局阻抗调整容差将作为系统中所有变压器的容差值。

电抗器阻抗调整 (Reactor Impedance Adjustment)

此调整用于电抗器阻抗的调整。通过指定百分数容差，谐波分析模块将增加电抗器的阻抗，这将导致阻抗值增大和更高的电压降。例如，如果电抗器的阻抗为 0.1 Ohm 并且它的容差为 5%，则在潮流计算中的电抗器阻抗为 0.105 Ohm。

在电抗器编辑器的额定值属性页中可以指定容差百分数。用户也可以在谐波分析案例编辑器的调整属性页中选择并设置一个全局阻抗调整容差。全局阻抗调整容差将作为系统中所有电抗器的容差值。

过载发热器电阻 (Overload Heater Resistance)

此调整用于过载发热器(OH)电阻的调整。通过指定百分数容差，谐波分析模块将增加 OH 的电阻，这将导致电阻值增大和更高的电压降。例如，如果 OH 的电阻为 0.1 Ohm 并且它的容差为 5%，则在潮流计算中的 OH 的电阻为 0.105 Ohm。

在过载发热器编辑器的额定值属性页中可以指定容差百分数。用户也可以在谐波分析案例编辑器的调整属性页中选择并设置一个全局阻抗调整容差。全局阻抗调整公差将作为系统中所有过载发热器的容差值。

长度容差 (Length Tolerance)

此组中允许用户考虑电缆和传输线长度的容差调整。

电缆长度容差 (Cable Length Adjustment)

此调整用于电缆的长度。通过指定百分数容差，谐波分析模块将增加电缆的长度，这将导致更高的阻抗和电压降。例如，如果电缆长度为 200ft，公差为 5%，则调整后的电缆长度为 210ft。

在电缆编辑器的信息属性页中可以指定容差百分数。用户也可以在谐波分析案例编辑器的调整属性页中选择并设置一个全局阻抗调整容差。全局阻抗调整容差将作为系统中所有电缆长度的容差值。

传输线长度调整 (Transmission Line Length Adjustment)

此调整用于传输线的长度。通过指定百分数容差，谐波分析模块将增加传输线的长度，这将导致更高的阻抗和电压降。例如，如果传输线长度为 2 米，公差为 2.5%，则调整后的传输线长度为 2.05 米。