

ETAP 软件在谐波分析中的应用

周进

天津市电力公司技术中心

引言:随着现代工业技术的发展,电网中非线性负荷大量增加,如各种整流变频装置、电弧炉、轧钢机等,这些非线性负荷在吸收系统所提供的基波能量的同时,又把部分基波能量转换为谐波能量,倒送回电力系统,成为电网的主要谐波源。谐波会导致供电系统的电压波形畸变[1],供电质量降低,会增加用电设备的损耗,降低设备的使用寿命,影响电能计量精度,对电力系统继电保护和通讯也有着不良影响。目前在天津地区,含有非线性负荷的用户在接入系统前需要进行谐波评估工作,通过计算谐波潮流分布,分析谐波对电网和其他用户的影响。在谐波评估的过程中,不仅要分析系统中的谐波源及其特性,还要分析它们产生的谐波电流和电压在不同运行方式下的分布情况,并提出合理的预防和治理措施。这些工作如果完全靠手工完成,将是十分繁琐的。ETAP 软件为我们利用计算机解决相关问题提供了平台,软件提供了丰富的电力设备模型,拥有直观、友好的操作界面,强大、完善的计算分析功能。ETAP 的谐波分析程序有两种谐波分析方法:谐波潮流和谐波频率扫描,都是电力系统谐波分析中流行并有效的方法。综合使用这两种方法,可发现存在的和潜在的电能质量问题,并设计出相应的解决方案。

ETAP 软件特点:ETAP 软件全称为 ETAP PowerStation,是美国 OTI 公司研发的一个全图形界面的电力系统仿真分析、计算应用高级软件,它有在线和离线两个版本[2]。具有潮流计算、短路分析、暂态稳定分析、电机启动分析、谐波分析、优化潮流分析、可靠性分析、继电保护配合分析、接地网设计等多个模块。软件具有以下比较显著的特点[3,4]

(1)综合性强:ETAP 采用 Microsoft ODBC 标准进行数据库连接,通过 ODBC 数据库引擎可以与其他数据库接口,建立了一个统一的、开放的数据平台;软件有多个模块,可进行电力系统的各个专业方向和应用领域中的定量计算与定性分析,功能强大。

(2)模型丰富:在同一分析领域中,对同类元件提供多种数学模型,使用者可根据需要在多种模型中进行选择。在其自定义动态模块中可允许用户自己增加数据库中没有的数学模型。

(3)操作方便:ETAP 软件将设备的电气、逻辑、机械以及物理属性集成在一起,可以直接在设备属性中设置;软件还可以直观地接入开关设备、继电保护设备,并模拟相应的动作,使在计算机上的操作与现实世界更相近。

(4)界面友好:软件提供图形化的界面,原始数据都以图形方式编辑;计算结果的输出也提供多种方式:如单线图上显示,分类计算报告,曲线图显示等,这样可以使计算人员将主要精力放在数学模型的选择和计算结果的分析上。

ETAP 谐波分析程序:ETAP 软件的谐波分析模块遵从 IEEE 519-1992《电力系统谐波控制的推荐规程和要求》标准,可进行谐波潮流计算、谐振和频率扫描分析,可以模拟电压源和电流源谐波,对谐波现象进行仿真和分析。

1.谐波源.ETAP 软件提供了丰富的电力系统设备和负荷模型,可模拟为谐波电流源的非线性负荷有:静态负荷、后备电源、充电器/转换器、变频器和变压器;可模拟为谐波电压源的有:等效电网、同步发电机、逆变器、充电器/逆变器、静态负荷。设备与谐波源数据库直接关联,软件提供了一些典型的谐波源,用户可以根据需要扩展谐波源库,可以对数据库进行添加、修改等操作。在谐波仿真分析中,只要在设备属性中进行设置就可以方便的添加不同类型的谐波源。

2.滤波器.ETAP 软件的滤波器编辑器提供了常用的单调谐和高通滤波器结构以供选择。对单调谐滤波器有相应的滤波器设计程序,程序提供了三种目标函数,功率因数补偿、最小投资和最小运行费用,可根据不同的需要优化滤波器参数。还可以通过设定,来校验电容器的过压和电抗器的过流问题。

3.谐波潮流计算.谐波潮流分析首先进行基波潮流计算。基本潮流计算结果为以后谐波潮流计算提供基

波母线电压和支路电流。然后对系统中的谐波源在各个谐波频率下进行潮流计算。计算中考虑的是2次到15次谐波,以及17次到73次的奇数次谐波。根据谐波频率和设备类型,程序可以自行调节谐波阻抗。对于三的倍数次谐波,零序阻抗根据实际频率和零序网进行调节。

软件可以计算各次谐波电压和电流的分布情况、母线电压和支路电流的总有效值、母线电压和支路电流的幅值算数和、母线电压和支路电流的总谐波畸变率等。

软件不但能够在系统单线图中直观的显示计算结果,还能形成多种类型的数据报告:(1)完整报告:所有详尽的输入信息与计算结果;(2)输入报告:根据设备类型选择设备的相应输入数据,如母线数据,变压器数据、谐波源数据等;(3)结果报告:基波和谐波潮流计算的结果;(4)总结报告。同时,ETAP也能以图形的形式显示母线电压和支路电流的波形,并可显示谐波频谱。

4.谐波频率扫描分析 对谐波问题普遍关注的还有系统中的谐振现象。因为系统中感性设备和容性设备同时存在,在特定频率下,就会发生谐振。如果在谐波电流流入系统的母线上发生谐振,则可观察到过压和过流现象。ETAP的频率扫描是检测系统谐振问题的有力工具。根据用户设定的频率扫描范围,软件计算母线输入的阻抗和相角,生成文本报告和频率阻抗图。在频率阻抗图上可以直观的看到并联谐振现象和其发生频率。

算例分析:天津某钢厂主要生产设备为两套冷轧机,机组使用大量直流电机驱动。整流方式有6脉冲晶闸管整流,特征谐波为 $6k \pm 1$ (k 取1, 2, 3……)。供电系统单线图如图1所示。

在正常生产时,谐波以5、7、11、13次特征谐波为主,根据GB/T14549-93《电能质量 公用电网谐波》中规定的方法,计算出该企业允许注入PCC点(公共连接点)的谐波电流,应用ETAP软件进行谐波分析,发现注入PCC点谐波电流严重超出国标规定,软件计算结果和实测结果见表1。

图1天津某钢厂单线图

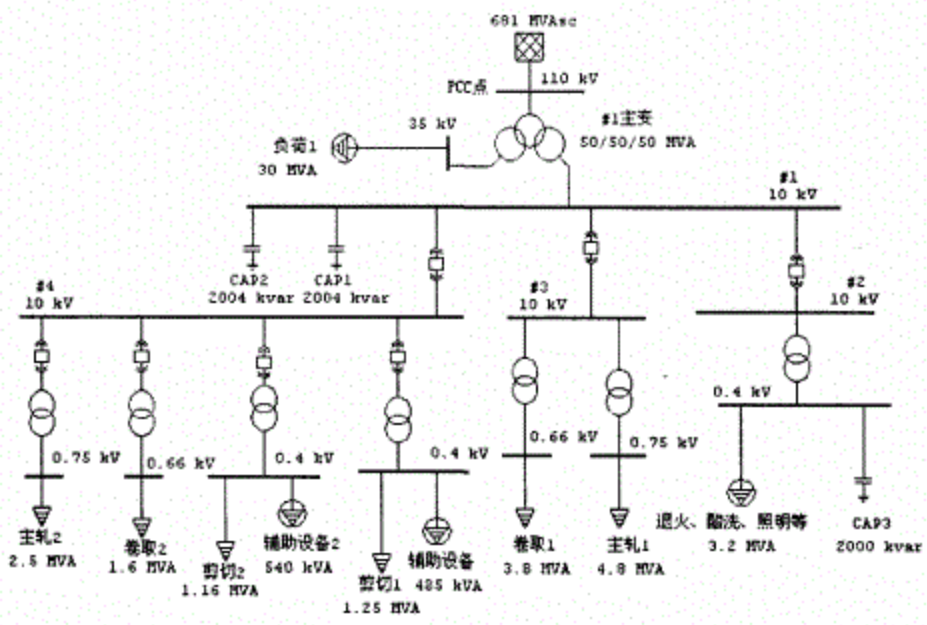


表1 注入PCC点谐波电流值(A)

谐波次数	5	7	11	13	17	19
允许值	17.8	14.8	10.6	9.3	7.2	6.5
计算值	57.2	40.2	30.5	25.6	16.1	14.3
实测值	40.8	28.8	24.7	20.8	10.0	9.1

由于注入PCC点谐波电流严重超标,为保证系统的供电质量,需要采取相应的治理措施。根据该企业的谐波特点,在#1母线安装两套完全一样的滤波器。每套滤波器设四个滤波支路,分别为5次、7次、11次和13次单调谐。

全厂总负荷 12180KW，实际平均负荷 6795KW，平均功率因数 0.65，考虑进行补偿后功率因数达到 0.92，需要补偿基波无功功率约为 5048kvar。根据谐波电流的分布情况，应用 ETAP 提供的滤波器设计功能，以功率因数补偿为目标函数，确定滤波器各个支路参数见表 2。

表 2 滤波器各支路参数

滤波器投入运行后的仿真计算结果和实测结果见表 3。

数调谐次数	5	7	11	13
额定电压 (kV) 安	7.0	7.0	6.6	6.6
装容量(kvar)	1200	900	600	600
电感 (mH)	5.41	3.47	1.87	1.34
品质因数	40	40	40	40
基波无功 (kvar)	940	690	450	510

表 3 注入 PCC 电谐波电流值 (A)

通过表 1 和表 3 中的数据对比，可以看出，ETAP 软件的谐波分析结果是准确可信的。计算结果与实

谐波次数	5	7	11	13	17	19
允许值	17.8	14.8	10.6	9.3	7.2	6.5
计算值	11.7	6.8	3.6	1.8	3.7	3.1
实测值	9.6	5.2	2.4	1.9	2.8	1.4

测结果不完全相同，这是由于设备的数学模型不够精确造成的。

运用 ETAP 的频率扫描功能，可以得到 # 1 母线的频率阻抗图，见图 2。通过频率阻抗图可以看出，滤波器有较好的滤波特性，在装置投入后，谐振频率均已经偏离了整数次谐波。

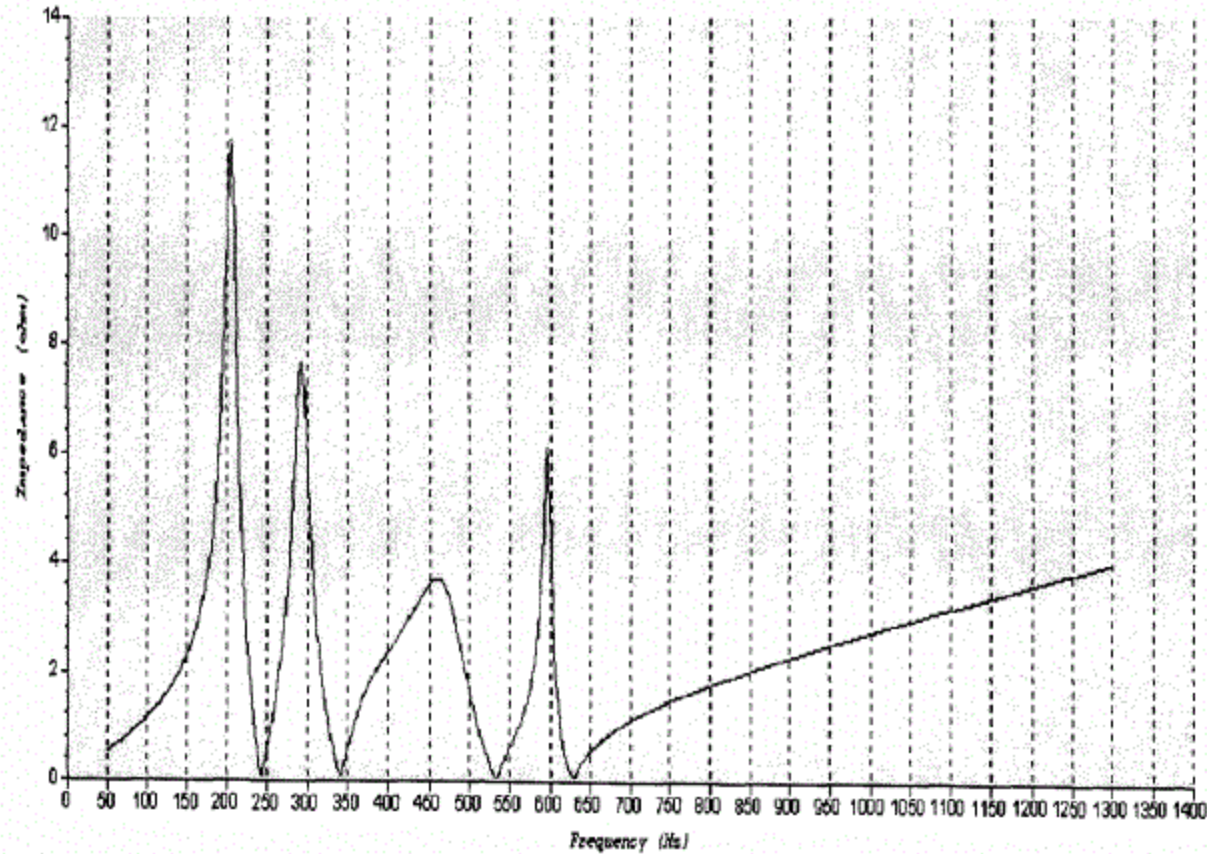


图 2 # 1 母线频率阻抗图

总结: (1) 谐波评估工作是对电网谐波进行监督管理的有效手段, ETAP 软件是谐波分析的有效工具。使用 ETAP 软件进行谐波潮流计算、频率阻抗分析和单调谐滤波器设计, 理论分析结果与实际测试结果基本吻合, 实践证明 ETAP 软件的谐波分析功能准确有效。

(2) 电网元件的参数直接影响着软件的计算结果, 为了得到与实际运行情况尽可能一致的结果, 需要充分的了解设备的属性, 建立完整精确的数学模型。

(3) 随着谐波治理技术的应用推广, ETAP 软件的功能也在不断的完善与更新中, 最新版本的 ETAP 谐波分析模块中又加入了一些新的设备模型, 如 SVC 装置等, 这使得谐波现象的分析和研究更为全面。

参考文献:

- [1]王兆安 杨君 刘进军《谐波抑制和无功功率补偿》[M].北京:机械工业出版社 2002 年 2 月.39-49
- [2]孙旻.使用 ETAP 软件分析用谐波对变电站电容器组的影响[D].《第二届电能质量国际研讨会论文集》.388-391.
- [3]冯煜煜.ETAP 分析软件在最优潮流分析中的应用[J].《华中电力》Vol.21 ,No.11 ,2004 年第 8 期: 14-18.
- [4]冯煜煜 陈陈. 电力系统分析软件 ETAP 的特点与功能简介[J]. 《上海电力》2004 年第 5 期: 419-420.