

## 电力系统潮流上机课程设计教学指导书（适用于 VC）

### 一、基础知识的要求

1. 掌握 VC 环境的建立，建立一个空的或者“hello world”的 DOS 工作平台。
2. 掌握函数的定义，头文件的使用，函数调用方法。了解类的概念，建立类对象，学会调用类成员函数。
3. 掌握数据文件的打开和关闭，学会自己根据系统数据建立数据文件，并读取数据。学会将计算结果写到文件中。
4. 对 VC 环境的掌握：
  - i. 打开工作平台：file->open workspace (file->recent workspace)
  - ii. 打开工作平台中的文件：选择 fileview 页，在 source file 中双击想打开的.cpp 文件，或者在 header file 中双击想打开的.h 文件。
  - iii. 保存文件：ctrl+s
  - iv. 将已有文件加入当前工作平台中：如果是 cpp 文件，则选中 source file，单击右键，选择 add file to folder，加入希望加入的 cpp 文件。如果是.h 文件，则选中 header file，单击右键，选择 add file to folder，加入希望加入的头文件。
  - v. 编译：所有的程序写完之后需要进行编译。编译可以选择 Build 按钮，也可以用快捷键 F7 进行编译。如果有语法错误，则会在 output 的 build 页显示出来，逐个双击定位，处理错误，解决问题。
  - vi. 调试：设置断点 (F9)，进入调试状态或者执行至下一个断点 (F5，或者点击界面上的“Go”按钮)，单步执行 (F10)，进入子函数 (F11)，执行到鼠标所在位置 (ctrl+F10)，结束调试 (shift+F5)。
  - vii. 运行：运行可以点击界面上的“叹号”按钮，也可以使用快捷键 ctrl+F5，使用这个命令时，所设置的断点是不起作用的。
5. 《电力系统稳态分析》教材中第四章涉及到的基本知识。

### 二、设计注意事项

1. 变量和数组的定义要写在函数的开头。
2. 语句的结尾需要用分号 (;)
3. 注意英文字符和中文字符
4. C++中大小写敏感。
5. 数组或结构体从 0 开始计数。
6. 循环语句只对它后面的第一语句起作用，如果想对多个语句起作用，则用 {} 括起来。
7. 同样的符号不能既定义成单独变量，又定义成数组，这样程序会出错。
8. “Break”语句必须在一个循环体里。
9. 文件的读写目录用“\”表示，如果写在程序目录中则不用加目录。
10. 建议用《电力系统稳态分析》书中的例 4-3 来校验结果是否正确。
11. 不要在实验室吃东西

### 三、程序设计指导

#### 文件读入和输出 (Example2):

1. 数据的读入和读出：潮流计算的原始数据存放在 009ieee.dat 当中，文件格式说明为 cdf.txt。
2. 这里用到了两个结构数组 Bus 和 Line，分别用于存储节点数据和支路数据，具体

定义参见 pfDatatype.h 文件。

- 为读取文件，需要用到 C++ 语言中文件输入输出和字符串功能，通过头文件引入到程序当中，具体用法参见 Example2.

```
#include <string>      //
#include <iostream>
#include "pfDataType.h"
#include <fstream>
```

- 输出有两种选择，一种是输出到文件，一种是输出至窗口。

### 节点导纳矩阵的生成 (Example3)

- 在读入所有母线数据和线路数据之后，即可生成节点导纳阵。在数学上，节点导纳阵是一个复矩阵，由于标准 C++ 中不支持复数运算，我们采用实部和虚部分别计算存放的方式来进行。节点导纳矩阵的生成方法可参见《电力系统稳态分析》一书 P115~118 页。
- 为降低同学们的编程难度，Example3 中提供了 pfMatrix 类，用于对矩阵的处理和求解。具体参见 Example3

### 功率方程计算 (Example4)

- 利用节点电压、相角及节点导纳阵即可进行功率方程的计算。具体参见《电力系统稳态分析》一书 P123~126 页
- 需要注意方程的顺序和母线顺序并不完全相同。

### Jacobi 矩阵生成及线性方程组的求解 (Example5)

- 利用节点电压、相角及节点导纳阵即可进行功率方程的计算。具体参见《电力系统稳态分析》一书 P132~134 页
- 需要注意 Jacobi 矩阵的顺序和母线的顺序
- 线性方程组  $AX=b$  求解方法已经给出，采用 LU 分解及前代回代算法。具体参见 pfMatrix 类的 solve 方法。其中 A 矩阵就是 pfMatrix 的矩阵，b 为数组，作为变量传入 solve 方法，求解结果存储于 b 数组当中。

### 牛顿法计算潮流

- 在上述工作的基础上，就可以用牛顿法计算潮流。需要学生新建一个新的 Project，并结合前期工作，完成最终的潮程序，**这个版本也是最终上交版本**。牛顿法具体流程可参见《电力系统稳态分析》一书 P134~135 页

## 四、基础知识

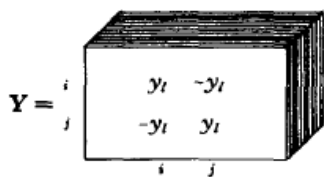
- 支路追加法形成导纳矩阵。  
一条首末端节点分别为 i 和 j，并且支路导纳为  $y_l$  的支路对节点导纳矩阵的贡献表现在四个位置上，即

$$\begin{bmatrix} y_l & -y_l \\ -y_l & y_l \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$$

那么节点导纳矩阵则为：

$$Y = \sum_{l=1}^b \begin{bmatrix} & i & j & \\ & y_l & -y_l & \\ & -y_l & y_l & \\ & & & \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ i \\ j \end{matrix}$$

相当于 b 个单元的叠加，每个单元表示一条支路对节点导纳矩阵的贡献。如果把每个单元想象成一个  $N \times N$  见方的透明胶片，每片最多在四个位置上有非零元素，把 b 片这样的单元叠在一起，透过胶片看过去，我们就得到了 Y 矩阵。



## 2. 失配量的求解。

《电力系统稳态分析》P161 页，极坐标潮流计算方程，失配量即是  $\Delta P$  和  $\Delta Q$ 。

$$\Delta P_i = P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

## 3. 牛顿法潮流计算。

《电力系统稳态分析》P157 页，牛顿法潮流计算方法的思想是将电力系统非线性方程组一阶泰勒展开，忽略高阶项，得到如下的迭代形式：

$$J \Delta x^{(k)} = f(x^{(k)})$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$$

可以看出，第一式即是形如  $AX=b$  的线性方程，可以采用求解线性方程组的模块进行计算。其中  $f(x^{(k)})$  就是根据当前电压和相角计算得到的  $\Delta P$  和  $\Delta Q$ 。只是需要注意的是，采用极坐标形式进行潮流计算时， $\Delta P$  的维数对应 PV 和 PQ 节点个数的总和，也就是对每个 PV 或 PQ 节点，都有一个有功失配量方程，而  $\Delta Q$  的维数对应 PQ 节点的个数，即对每个 PQ 节点，才有无功失配量的方程，这样方程个数和状态量的个数是相等的。

## 4. 形成雅克比矩阵。

雅克比矩阵就是牛顿法潮流计算中的系数矩阵 J。

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ n-r \end{matrix}$$

$n \quad n-r$

雅克比矩阵的形成可参见《电力系统稳态分析》P161—P162，其中 r 是 PV 节点的个数，n-r 是 PQ 节点的个数。

编写：刘崇茹

修正：孙英云 2010 年 12 月 13 日