

附录 A: 电力系统潮流计算机解法实验指示书

一、实验目的

通过实验,掌握利用电子数字计算机计算电力系统潮流的基本方法(NEWTON-RAPHSON 法),使同学初步掌握潮流计算的程序编制、上机调试、分析计算结果的能力。

二、实验要求

看懂给定的五个子程序(直角坐标形式):

YBUS(形成节点导纳矩阵)

DPQC(计算功率误差)

JMCC(形成雅可比矩阵)

SEVC(解修正方程)

PLSC(计算线路潮流, PV 节点无功功率及平衡节点功率)

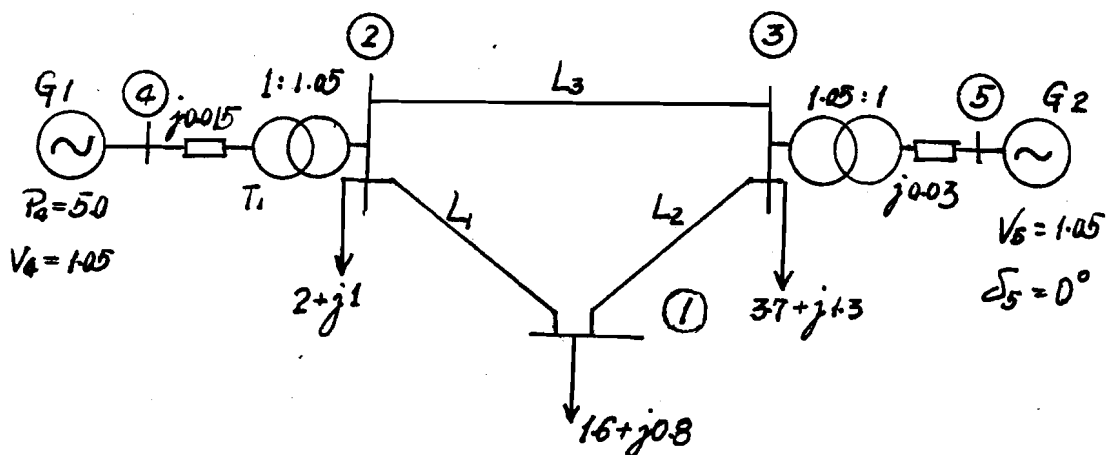
根据 NEWTON-RAPHSON 法的框图,编制出主程序,分别调用以上的五个子程序,对给定的模型系统进行潮流计算,对结果进行分析。

记录:①节点导纳矩阵,②最后结果,包括节点电压(大小及角度)、节点功率(有功及无功)、线路功率(有功及无功)、线路损耗(有功及无功)。

迭代收敛指标取 $\epsilon = 10^{-4}$ 或 10^{-5} 。

三、模型系统图与原始数据

1. 模型系统 1



支路	Y_{ser} (串联导纳)	$Y/2$ (并联导纳)
L_1	$0.624024-j3.900156$	$j0.25$
L_2	$0.754717-j2.641509$	0
L_3	$0.829876-j3.112033$	$j0.25$

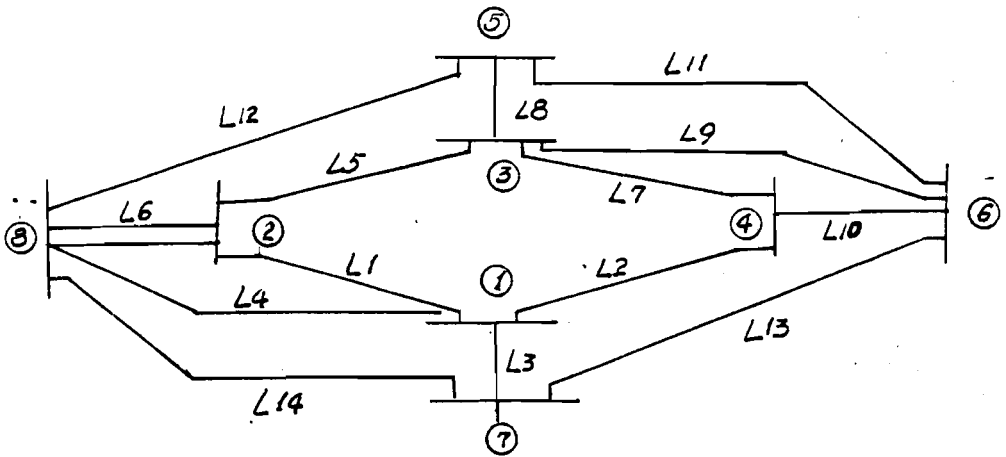
节点分类:PQ 节点:①、②、③

PV 节点:④

平衡节点:⑤

支路编号 I	起始母线 S1(I)	终止母线 E1(I)
1	①	②
2	①	③
3	②	③
4	②	④
5	③	⑤

2. 模型系统 2



输电线数据

支路	Z	Y/2
L1	0.2+j1.3	0
L2	0.16+j2.1	0
L3	0.35+j2.0	0
L4	0.3+j3.0	0
L5	0.21+j1.0	0
L6	0.2+j1.0	0
L7	0.21+j3.11	0
L8	0.32+j3.0	0
L9	0.25+j2.3	0
L10	0.1+j1.5	0
L11	1.1+j8.1	j0.08
L12	1.0+j7.0	j0.05
L13	0.75+j6.3	j0.06
L14	0.8+j6.5	j0.03

节点类型及数据

节点	类型	节点功率		电压	Q _{min}	Q _{max}
		有功	无功			
1	PQ	0.25	0.20			
2	PQ	-0.22	-0.13			
3	PQ	0.25	0			
4	PQ	0	-1.0			
5	PV	-0.233		V ₅ =1.0	-0.10	0.10
6	PV	0.15		V ₆ =1.0	-0.10	0.10
7	PV	0.20		V ₇ =1.0	-0.10	0.10
8	平衡			V ₈ =1.0∠0°		

四、变量说明

给定的子程序中各变量说明如下：

G(I,J) Y_{bus}的电导元素(实部)

B(I,J) Y_{bus}的电纳元素(虚部)

✓G1(I) 第I支路的串联电导

✓ B1(I)	第 I 支路串联电纳
✓ C1(I)	第 I 支路 π 型对称接地电纳
✓ C(I,J)	第 I 节点 J 支路不对称接地电纳
✓ CO(I)	第 I 节点的接地电纳
✓ S1(I)	第 I 支路的起始节点号
✓ E1(I)	第 I 支路的终止节点号
✓ P(I)	第 I 节点的注入有功功率
✓ Q(I)	第 I 节点的注入无功功率
PO(I)	第 I 节点的有功功率误差
QO(I)	第 I 节点的无功功率误差
VO(I)	第 I 节点(PV 节点)的电压误差(平方差)
V(I)	第 I 节点的电压幅值
E(I)	第 I 节点的电压的实部
F(I)	第 I 节点的电压的虚部
D	有功及无功功率误差的最大值(绝对值)
JM(I,J)	Jacobian 矩阵的第 I 行 J 列元素
A(I,J)	修正方程的增广矩阵、三角化矩阵的第 I 行 J 列元素,运算结束后 A 矩阵的最后一列存放修正方程的解
P1(I)	第 I 支路由 S1(I)节点注入的有功功率
Q1(I)	第 I 支路由 S1(I)节点注入的无功功率
P2(I)	第 I 支路由 E1(I)节点注入的有功功率
Q2(I)	第 I 支路由 E1(I)节点注入的无功功率
P3(I)	第 I 支路的有功功率损耗
Q3(I)	第 I 支路的无功功率损耗
ANGLE(I)	第 I 节点电压的角度
✓ N	网络节点总数
✓ M	网络的 PQ 节点数
✓ L	网络的支路总数
✓ NO	雅可比矩阵的行数
✓ N1	NO+1
✓ K	打印开关, K=1 打印 K \neq 1 不打印
✓ K1	子程序 PLSC 中判断输入电压的形式 K1=1 输入极坐标形式 $V\angle\delta$ K1 \neq 1 输入直角坐标形式 $E+jF$

节点编号顺序: N 个节点中, 前 M 个为 PQ 节点, M+1 至 N-1 个为 PV 节点, 第 N 个为平衡节点。

五、子程序功能说明

1. 子程序 YBUS

语句: SUBROUTINE YBUS(N,I,M,G,B,G1,B1,C1,C,CO,K,S1,E1)

功能: 输入支路导纳及有关信息, 形成节点导纳矩阵。

输入: 通过虚实结合, 输入参数 N,L,M,G1,B1,C1,C,CO,K,S1,E1 的值。

(注: (1) 如第 I 节点 J 支路没有不对称接地电纳, 则 C(I,J) 为零, 如第 m 节点与第 n 支路不相联则 C(m,n) 为零;

(2) 如第 I 节点没有接地电纳, 则 CO(I) 为零)

输出: 通过虚实结合, 形成 Y_{bus} 矩阵, 由 G(I,J), B(I,J) 分别输出其实部和虚部。

若 K=1, 则分别打印出 G(I,J), B(I,J);

若 K≠1, 则不打印。

2. 子程序 DPQC

语句: SUBROUTINE DPQC(P,Q,PO,QO,V,VO,M,N,E,F,K,G,B,D)

功能: 计算功率误差 ΔP , ΔQ 及 ΔV^2 , 分别输出, 并输出功率误差绝对值的最大值

输入: 通过虚实结合, 输入参数 P,Q,V,M,N,E,F,K,G,B 的值

输出: 通过虚实结合, 输出功率误差 PO,QO(PQ 节点), VO(PV 节点) 以及 PO,QO 中的绝对值的最大值 D

若 K=1 打印 PO,QO,VO;

若 K≠1 不打印。

3. 子程序 JMCC

语句: SUBROUTINE JMCC(M,N,NO,E,F,G,B,JM,K)

功能: 由输入的 E,F,G,B 及有关参数, 形成 Jacobian 矩阵的各元素。

输入: 通过虚实结合, 输入参数 M,N,NO,E,F,G,B,K 的值。

输出: 通过虚实结合, 由 JM(I,J) 输出 Jacobian 矩阵的各元素

Jacobian 矩阵的形式

$$\begin{bmatrix} J_{11} & L_{11} & J_{12} & L_{12} & \cdots & J_{1p} & L_{1p} & \cdots \\ H_{11} & N_{11} & H_{12} & N_{12} & \cdots & H_{1p} & N_{1p} & \cdots \\ J_{21} & L_{21} & J_{22} & L_{22} & \cdots & J_{2p} & L_{2p} & \cdots \\ H_{21} & N_{21} & H_{22} & N_{22} & \cdots & H_{2p} & N_{2p} & \cdots \\ \vdots & & & & & & & \\ R_{p2} & S_{p1} & R_{p2} & S_{p2} & \cdots & R_{pp} & S_{pp} & \cdots \\ H_{p1} & N_{p1} & H_{p2} & N_{p2} & \cdots & H_{pp} & N_{pp} & \cdots \end{bmatrix}$$

$i=1,2,\dots,M,M+1,\dots,N-1,N$

P

若 K=1 打印 JM

若 K≠1 不打印

4. 子程序 SEVC

语句: SUBROUTINE SEVC(A,NO,K,N1)

功能: 解线性方程组求出电压修正量。若无唯一解, 给出信息并停止程序运行。

输入:通过虚实结合输入 A, NO, K, N1 的参数, 其中 A 的增广的一列为功率误差向量 $(\Delta Q_1, \Delta P_1, \dots, \Delta Q_N, \Delta P_1, \dots, \Delta V_N^2, \Delta P_N, \dots, \Delta V_{N-1}^2, \Delta P_{N-1})^T$ 。

输出:通过虚实结合, 输出 A(I, J) 的值, 其最后一列为线性方程组的解, 即电压修正量 $(\Delta e_1, \Delta f_1, \dots, \Delta e_{N-1}, \Delta f_{N-1})^T$ 。

若 K=1, 打印增广矩阵变换中的上三角阵及最后的电压修正量;

若 K≠1, 不打印。

5. 子程序 PLSC

语句: SUBROUTINE PLSC(N, I, M, G, B, E, F, E1, S1, G1, B1, C1, C, CO, P1, Q1, P2, Q2, P3, Q3, P, Q, V, ANGLE, K1)

功能: 计算线路的功率, 平衡节点功率, PV 节点无功功率及线路的功率损耗。

输入: 通过虚实结合, 输入 N, L, M, G, B, E, F, E1, S1, G1, B1, C1, C, CO, K1 的参数。

输出: 通过虚实结合, 输出平衡节点有功功率 P(N), PV、平衡节点无功功率 (Q(P), Q(N)), 各支路功率 P1(I)、Q1(I)、P2(I)、Q2(I), 各支路损耗 P3(I)、Q3(I), 最后打印结果。

若 K1=1, 表示输入的电压为极坐标

若 K1≠1, 表示输入的电压为直角坐标。

六、部分公式

1. 平衡节点的注入有功及无功:

$$P_N = E_N \sum_{j=1}^N (G_{Nj} E_j - B_{Nj} F_j)$$

$$Q_N = -E_N \sum_{j=1}^N (G_{Nj} F_j + B_{Nj} E_j)$$

2. PV 节点的无功功率:

$$Q_P = E_P \sum_{j=1}^N (-B_{Pj} E_j - G_{Pj} F_j) + F_P \sum_{j=1}^N (G_{Pj} E_j - B_{Pj} F_j)$$

3. 支路功率的计算

设第 I 支路两端分别为 i, j

由 i 注入 I 支路的功率为:

$$P_{ij} = (E_i^2 + F_i^2) G1(I) + (E_i E_j + F_i F_j) G1(I) - (F_i E_j - E_i F_j) B1(I)$$

$$Q_{ij} = -(E_i^2 + F_i^2) (C1(I) + B1(I)) + (E_i E_j + F_i F_j) B1(I) - (F_i E_j - E_i F_j) G1(I)$$

(如第 i 节点处有不对称接地电纳, 尚需再计及相应的无功功率)

七、子程序清单