

含风电场的潮流计算 实验报告书

姓名 _____ 学号 _____

姓名 _____ 学号 _____

姓名 _____ 学号 _____

姓名 _____ 学号 _____

姓名 _____ 学号 _____

西安交通大学电气学院
二零一五年

含风电场的潮流计算实验指导书

1 实验任务和程序使用说明

1.1 实验目的

基于电网和风电场参数计算，通过使用含风电场的潮流计算程序，利用计算机手段，分析含风电场下电力系统潮流，并分析无功补偿、风电场规模、风电场接入位置等重要因素的影响。

1.2 实验任务和要求

本实验前期知识包括电力系统潮流计算和风电机组建模两部分。

本实验要求完成一个风电场接入到 IEEE 14 节点标准系统中的潮流计算和相关重要因素的影响。需要填写的数据和文字分析用()表示出来。主要包括：

- ☐ 风电场接入系统的联络输电线和变压器参数计算
- ☐ 基本潮流的计算结果
- ☐ 风电无功补偿影响分析
- ☐ 风电场规模影响分析
- ☐ 风电场接入位置影响分析
- ☐ 自主性分析

1.3 实验程序输入输出说明

1.3.1 实验程序使用说明

实验目录中包括 4 个文件，分别进行说明

- ☐ Windflow.exe: 实验的计算程序，当数据文件的信息完全时直接双击就可以进行计算，将自动生成计算结果 Result.txt 文件；
- ☐ Windsystem.txt: 输入的数据文件，包括了测试系统的电网侧信息，该数据格式将在 1.2.2 节进行详细说明。这个文件本身信息不全，实验的第一步就是根据已知信息将这个文件数据补全，进行基本潮流计算。然后针对不同影响因素，

修改本文件进行计算。

- Windfarm.txt:输入的风电场数据文件。这个文件本身信息是完整的，可以直接进行基本潮流计算。然后针对不同影响因素，修改本文件进行计算。
- 有 30%无功补偿额定风速下潮流分布【实验书上结果】.txt:基本潮流计算的结果数据，用于各种情况的比较。

1.3.2 网络部分输入数据说明

第 1 部分——节点信息

{

总节点数

节点编号 - 节点类型 - 负荷有功 - 负荷无功 - 发电机有功 - 发电机无功 - 电压相角 - 电压幅值。

}

以测试系统为例：

16

节点编号	节点类型	负荷有功/MW	负荷无功/MW	发电机有功/MW	发电机无功/MW	电压相角/MW	电压幅值/MW
1	0	29.5	16.6	0	0	0	1
2	0	9	5.8	0	0	0	1
3	0	3.5	1.8	0	0	0	1
.....							
16	3	0	0	232.4	-16.9	0	1.06

注：节点类型说明 0 - PQ 节点 2 - PV 节点 3 - 平衡节点

第 2 部分——一般线路和变压器支路

{

总支路数(包括双回路)

节点号 i - 节点号 j - 电阻 r - 电抗 x - 节点电容 B

}

以测试系统为例：

22

节点号 i	节点号 j	电阻 r	电抗 x	节点电容 B
1	2	0.03181	0.0845	0

1	6	0.12711	0.27038	0
1	-9	0	0.55618	0.969
.....				
9	15	0.05811	0.17632	0.034
.....				

- 注：
1. 节点电容是线路两侧之和
 2. 对于变压器线路, 节点号为负为变压器的非标准变比所在的一侧
 3. 对于变压器线路, 最后一项数据为变压器的非标准变比.
 4. 注意, 支路输入顺序按照第一顺序节点号 i , 第二顺序节点 j 严格排序, 且 $i < j$ 。

第3部分——接地支路

```
{
    总接地支路数目
    接地支路所在节点号-接地 g-接地 b
}
```

以测试系统为例：

1

节点号	接地 g	接地 b
1	0	0.19

1.3.3 风电场输入数据说明

单个风机模型如下：

鼠笼型异步发电机 II 型等值电路和功率关系流程图如下图：

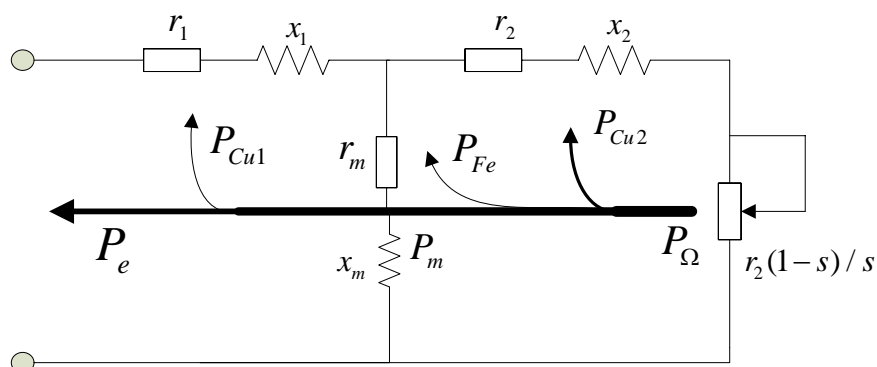


图1 鼠笼型异步发电机 II 型等值电路和功率关系流程图

图中的符号说明如下：

x_m —— 发电机的励磁电抗
 r_m —— 发电机的励磁电阻
 x_1 —— 发电机定子侧电抗
 r_1 —— 发电机定子侧电阻
 x_2 —— 发电机转子侧电抗
 r_2 —— 发电机转子侧电阻
 s —— 发电机滑差率

输入数据包括：

```

{
    风电机组台数：          30
    风电场母线编号：        8
    单个风电机组额定功率(kW)： 600
    单个风机额定电压(kV)：    0.69
    单个风机  $r_1/\Omega$ ：      0.00359931
    单个风机  $x_1/\Omega$ ：      0.04027806
    单个风机  $r_2/\Omega$ ：      0.00385641
    单个风机  $x_2/\Omega$ ：      0.11834893
    单个风机励磁阻抗  $x_m/\Omega$ ： 1.75042450
}
  
```

需要注意各变量的单位。

另外，注意定义“无功补偿度 $CPF = \text{风电场补偿无功功率 } Q_c / \text{风电场有功功率 } P_e$ ”。

1.3.4 输出数据说明

由于在输出的结果文件中标示得比较清楚，不再展开阐述。主要包括如下一些信息：

迭代收敛过程
 节点计算结果信息
 线路潮流信息
 系统损耗

2.1 系统结构图

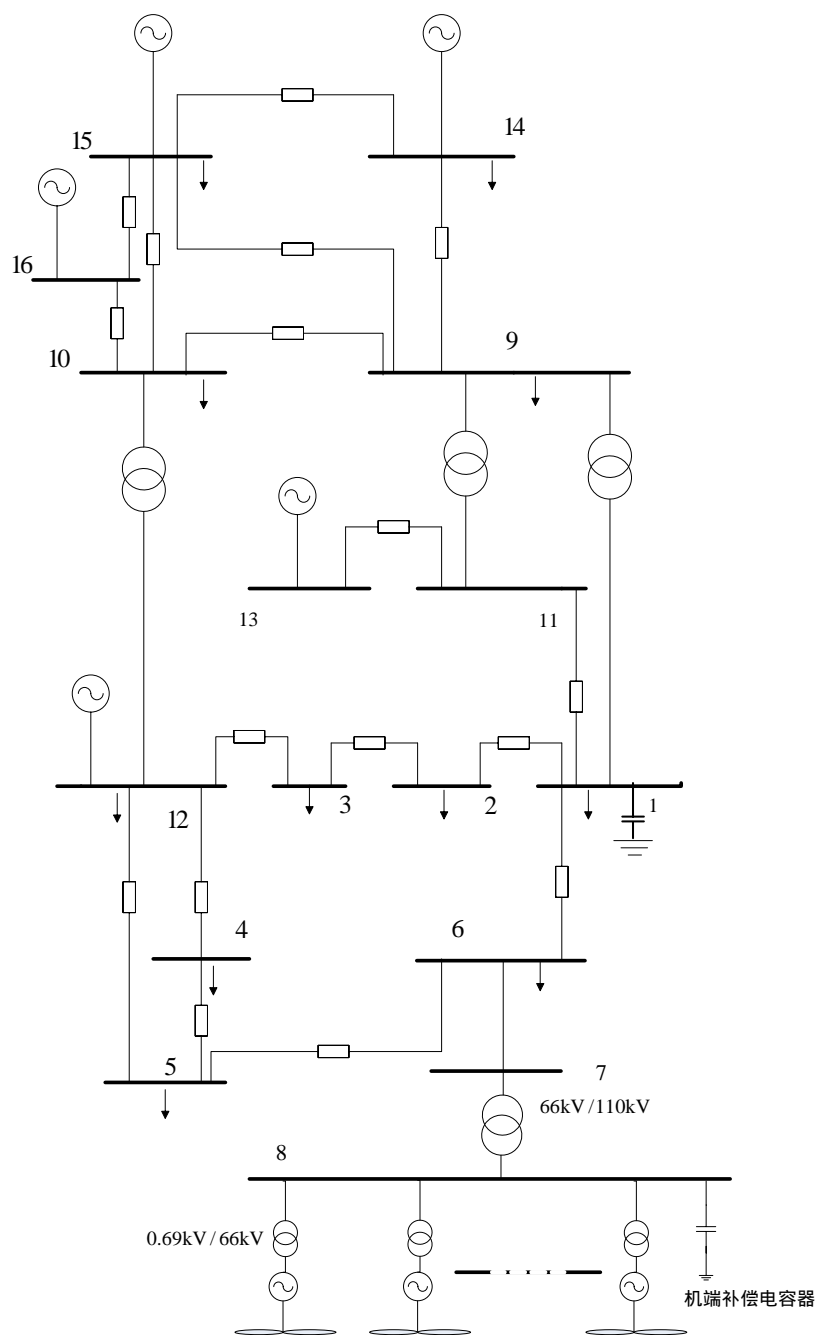



图 2 含有大规模风电场的系统接线图

2.2 测试系统参数

1) 节点信息

这部分信息对应上图中各母线信息，其中图中箭头表示负荷，表示发电机。表中信息参照 IEEE 14 节点典型系统已经全部给出，这里仅做了解，不用填写。

16

节点编号	节点类型	负荷有功/MW	负荷无功/MW	发电机有功/MW	发电机无功/MW	电压相角/MW	电压幅值/MW
1	0	29.5	16.6	0	0	0	1
2	0	9	5.8	0	0	0	1
3	0	3.5	1.8	0	0	0	1
4	0	6.1	1.6	0	0	0	1
5	0	13.5	5.8	0	0	0	1
6	0	14.9	5	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1
9	0	47.8	-3.9	0	0	0	1
10	0	7.6	1.6	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	1
12	2	11.2	7.5	0	12.2	0	1.07
13	2	0	0	0	17.4	0	1.09
14	2	94.2	19	0	23.4	0	1.01
15	2	21.7	12.7	40	42.4	0	1.045
16	3	0	0	232.4	-16.9	0	1.06

注：节点类型说明 0 - PQ 节点 2 - PV 节点 3 - 平衡节点

2) 线路和变压器线路

这部分信息对应上图中各支路信息，比如节点 1~9 之间有通过变压器连接、节点 5~12 之间通过线路连接。

实验任务：已知风电场经过 $12.6+j24.96\Omega$ 的联络线路接入系统。汇流变电站的变压器阻抗为 $0+j3.63\Omega$ ，变比化为标么值为 1.05，非标准变比在节点 7 侧。请补全表中数据，要求小数点后有效位数保留 4 位。其中 $S_B=100\text{MVA}$ ，电压基准值为 $U_B=110\text{kV}$ 。

节点号 i	节点号 j	电阻 r	电抗 x	节点电容 B
1	2	0.03181	0.0845	0
1	6	0.12711	0.27038	0
1	-9	0	0.55618	0.969
1	11	0	0.11001	0
2	3	0.08205	0.19207	0
3	12	0.09498	0.1989	0
4	5	0.22092	0.19988	0
4	12	0.12291	0.25581	0
5	6	0.17093	0.34802	0
5	12	0.06615	0.13027	0
6	7	()	()	()
-7	8	()	()	()
9	10	0.01335	0.04211	0
-9	11	0	0.20912	0.978
9	14	0.06701	0.17103	0.0128
9	15	0.05811	0.17632	0.034
-10	12	0	0.25202	0.932
10	15	0.05695	0.17388	0.0346
10	16	0.05403	0.22304	0.0492
11	13	0	0.17615	0
14	15	0.04699	0.19797	0.0438
15	16	0.01938	0.05917	0.0528

3) 接地支路

1

节点号	接地 g	接地 b
1	0	0.19

2.3 风电场参数

风电场共有 30 台容量为 600kW 异步风力发电机。单台风力发电机参数如下：风机的切入风速、切出风速、额定风速分别为别为 $3m/s$ 、 $23m/s$ 、 $13.5m/s$ ，额定电压为 690V。单台风力发电机参数见下表：

表 1 单台风力发电机的参数

额定容量	600kW
额定出口电压	690V
定子电抗 x_1	0.04027806Ω
定子电阻 r_1	0.00359931Ω

转子电抗 x_2	0.11834893 Ω
转子电阻 r_2	0.00385641 Ω
激磁电抗 x_m	1.75042450 Ω
额定转差 s_n	-0.0004
风机出口升压变 x_T	0.02618073 Ω
额定功率因素 $\cos \varphi_N$	0.89

单台风力发电机的功率-风速曲线如下：

表 2 单台力发电机的风速-功率曲线关系

风速 m/s	5	7	9	11	13	13.5	14	15	17	19	21
发出功率/kW	37.5	116.4	269.4	450	570.3	600	605	625.4	635	625	615

3 算例潮流计算结果及其分析

采用联合修正模型进行潮流计算时，当额定风速为 $v = 13.5 m/s$ ，补偿度为 30%时，各节点电压、相角如下表。

实验任务：使用含风电场的潮流计算程序，将以下表格中用()标识出来的空白数据和分析补充完整。以后部分的实验要求类似。

表 3 各节点电压、相角等信息

节点号	节点电压 p.u	节点相角 /°	节点号	节点电压 p.u	节点相角 /°
1	1.053667	-12.948468	9	1.019996	-9.400116
2	1.049144	-13.145261	10	1.021974	-7.947415
3	1.056006	-12.926435	11	1.061273	-11.733634
4	1.054659	-13.082888	12	1.070000	-12.450104
5	1.050939	-12.931185	13	1.090000	-11.733634
6	()	()	14	1.010000	-12.022127
7	()	()	15	1.045000	-4.562712
8	()	()	16	1.060000	0.000000

表 4 线路潮流分布 $S_N = 100\text{MVA}$

节点号 i	节点号 j	P_{ij}	Q_{ij}	P_{ji}	Q_{ji}
1	2	0.057976	0.034647	-0.057846	-0.034300
1	6	-0.014049	0.075061	0.014717	-0.073640
1	9	-0.123421	0.005793	0.123421	0.001855
1	11	-0.215506	-0.070560	0.215506	0.075655
2	3	-0.032154	-0.023700	0.032273	0.023978
3	12	-0.067273	-0.041978	0.067809	0.043100
4	5	0.003166	0.016148	-0.003112	-0.016099
4	12	-0.064166	-0.032148	0.064735	0.033333
5	6	-0.012314	0.050846	0.012737	0.049984
5	12	-0.119574	-0.092746	0.120946	0.095447
6	7	()	()	()	()
7	8	()	()	()	()
9	10	-0.581764	0.144478	0.586375	0.129934
9	11	0.215506	0.087038	-0.215506	0.097423
9	14	0.261274	0.043106	-0.256792	0.041360
9	15	-0.496438	0.022811	0.510295	0.017017
10	12	0.365489	0.129838	-0.365490	-0.098306
10	15	-0.364352	-0.023355	0.371592	0.008500
10	16	-0.663512	0.007452	0.686344	0.033465
11	13	-0.000000	-0.173078	0.000000	0.177763
14	15	-0.685208	0.006857	0.706875	0.038171
15	16	-1.405761	0.22601	1.441985	-0.173912

表 5 PV 节点功率、网损等其他信息

PV 节点号	无功功率	平衡节点	有功出力	无功出力
12	0.148574	16	2.128328	-0.140446
13	0.177763	系统有功损耗	()	
14	0.238216			
15	0.382668			
接地节点 1	-0.210941	系统无功损耗	-0.046473	
接地节点 8	-0.052774			

有了基本结果，下面分析风速变化的影响。

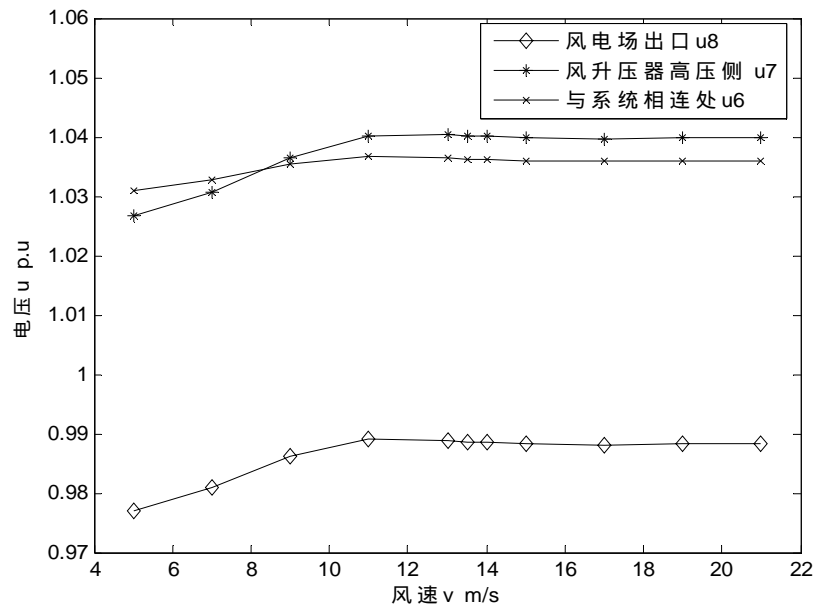
表 6 风速变化时，风电场出口处(节点 8)各电气量变化

风速 m/s	幅值 p.u	相角 /°	有功出力	无功出力	滑差 s
5	0.977096	-15.409962	0.011250	-0.078050	-0.000318
7	0.980816	-14.620567	0.034920	-0.079907	-0.000982
9	0.986131	-13.071335	0.080820	-0.086874	-0.002263
11	()	()	()	()	()
13	0.988931	-9.912795	0.171089	-0.114400	-0.004917
13.5	0.988586	-9.589108	0.179999	-0.118248	-0.005200
14	0.988515	-9.534364	0.181499	-0.118919	-0.005249
15	0.988188	-9.309928	0.187621	-0.121726	-0.005448
17	0.988013	-9.204016	0.190499	-0.123086	-0.005543
19	0.988195	-9.314342	0.187501	-0.121670	-0.005444
21	0.988363	-9.424648	0.184498	-0.120280	-0.005346

综合上表的信息，可得如下结论：

()

风电场相关联母线（母线 8、7、6）的电压关系如下：

图 3 $CPF = 30\%$ 时风电场相关节点电压

4 风电场无功补偿的影响

在基本计算结果上,对风电场无功补偿的影响进行分析。采取补偿前即 $CPF = 0$ 的风电场相关节点电压图如下,采用补偿后设 $CPF = 30\%$ 时,风电场相关节点电压图如上图。

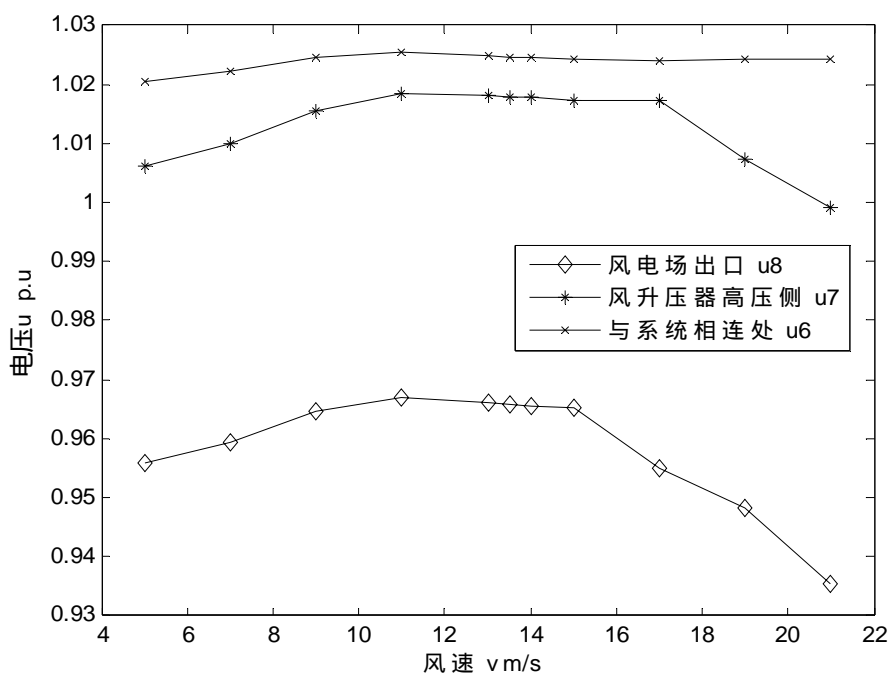


图4 $CPF = 0$ 时风电场相关节点的电压

比较上面两图,可得到如下结论:

(_____

_____)

5 风电场的规模对潮流分布的影响

表 7 风速不同时风电场容量变化时风电场出口电压幅值的变化情况

风速 (m/s)	风电场台数			
	30	10	50	100
5	0.977096	0.997935	0.957054	0.910169
7	0.980816	()	()	()

9	0.986131	1.001242	0.970651	0.930030
13.5	0.988586	1.002990	/	/
15	0.988188	1.002963	/	/
17	0.988013	1.002946	/	/
19	0.988195	1.002964	/	/

6 风电场接入位置对系统电压的影响

将风电场系统分别接入到 IEEE14 测试系统的母线 3、母线 6 和母线 9，取额定风速 $v = 13.5 \text{ m/s}$ 时，即风电场的输出额定有功功率为 18MW 时，不计 PV 节点，各点电压变化如下：

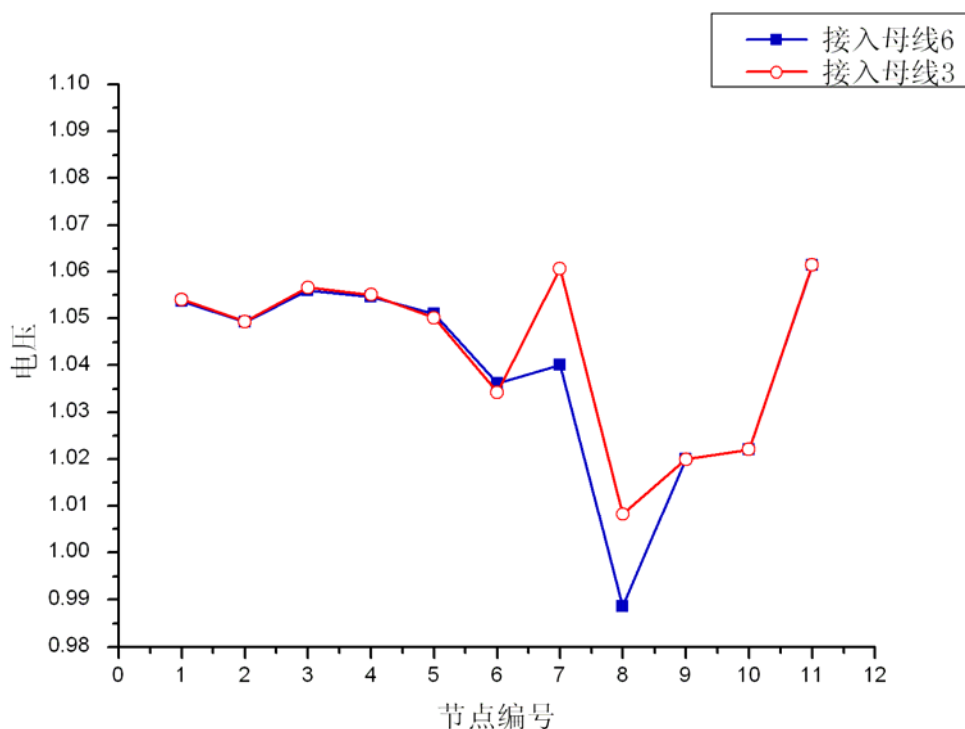


图 5 风电场接入不同位置母线时，风电场出口电压

【提示】：本部分需要认真阅读 1.3.2 节输入数据部分关于线路和变压器支路数据的说明后再完成。

表 8 风电场接入不同位置母线时，风电场出口电压（额定功率下，CPF=30%）

接入系统的节点	节点 7 电压幅值	节点 8 电压幅值
3	()	()
6	1.040117	0.988585

(_____)

7 自主性分析-选作

[illegible]