浙江大學

本科实验报告

姓名：	叶星汝
学院：	电气工程学院
系：	电机工程系
专业：	电气工程及其自动化
学号：	3160103013
指导教师：	王晓菲

2020 年 1 月 5 日

浙江大学实验报告

课程名称：微电网构架与控制策略 实验类型：仿真实验

实验项目名称：微电网运行与控制系统仿真实验

学生姓名：叶星汝 专业：电气工程及其自动化学号：3160103013

指导老师：王晓菲

实验地点：环科楼305 实验日期：2020 年 1 月 5 日

装订线

一、实验目的和要求（必填）

二、实验内容和原理（必填）

三、主要仪器设备

四、操作方法与实验步骤

五、实验数据记录和处理

六、实验结果与分析（必填）

七、讨论、心得

注：不同类型的实验课对实验报告可有不同要求，各个学科的实验报告可以根据自己的学科特点做适当的调整，但上述基本内容中的第一、二、三、六条为必须填写的内容。

一、实验目的和要求

1. 理解微电网的构成、运行及控制
2. 掌握光伏、蓄电池、风能等发电技术
3. 设计微网结构并建模

二、实验内容和原理

内容：

1.分布式发电（distributed generation， DG）：指利用各种分散存在的能源，包括可再生源（太阳能、生物质能、小型风能、小型水能、波浪能等）和本地可方便获取的化石类燃料（天然气、煤气、柴油等）进行发电供能的技术。

采用分布式发电，有助于充分利用各地丰富的清洁和可再生能源，向用户提供“绿色电力”，是实现“节能减排”的重要举措。

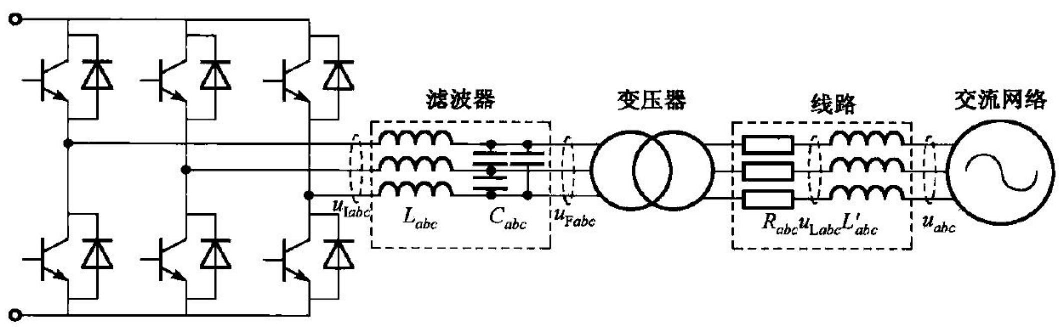
2.微电网：分布式能源、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等汇集而成的小型发配电系统，是一个能够实现自我控制和管理的自治系统。

微电网的组建建立在分布式电源对系统运行的主动控制上，这种控制能力可以允许配电网连接到主网，当出现故障或其他外部扰动或自然灾害时，可以独立于主网实现孤岛运行，从而提高供电质量。

装订线

原理：分模块：

（1）典型的三相电压型逆变器并网结构



$$\begin{cases} L\dfrac{di_{Id}}{dt} = u_{Id} - u_{Fd} - \omega L i_{Iq} \\ L\dfrac{di_{Iq}}{dt} = u_{Iq} - u_{Fq} + \omega L i_{Id} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C'\dfrac{du_{Fd}}{dt} = i_{Id} - \dfrac{u_{Fd} - u_{Ld}}{R} - \omega C' u_{Fq} \\ C'\dfrac{du_{Fq}}{dt} = i_{Iq} - \dfrac{u_{Fq} - u_{Lq}}{R} + \omega C' u_{Fd} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L'\dfrac{di_{d}}{dt} = u_{Ld} - u_{d} - \omega L' i_{q} \\ L'\dfrac{di_{q}}{dt} = u_{Lq} - u_{q} + \omega L' i_{d} \end{cases}$$

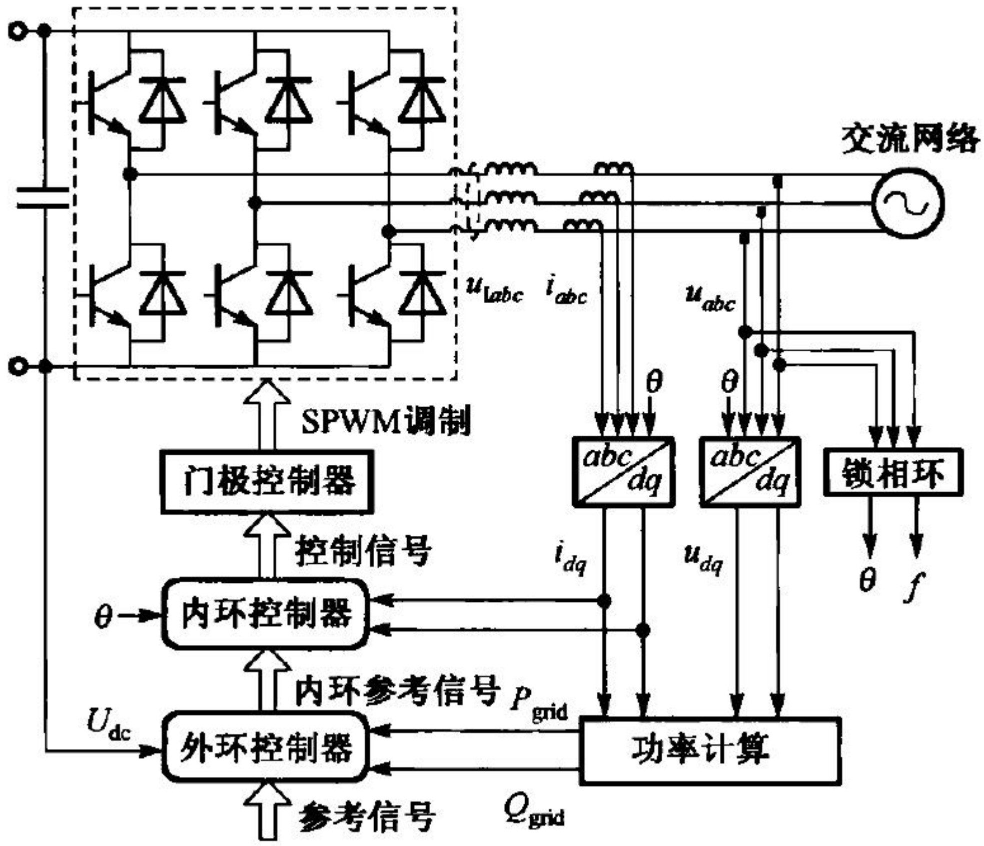
$$\begin{cases} L\dfrac{di_{Ia}}{dt} = u_{Ia} - u_{Fa} \\ L\dfrac{di_{Ib}}{dt} = u_{Ib} - u_{Fb} \\ L\dfrac{di_{Ic}}{dt} = u_{Ic} - u_{Fc} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C'\dfrac{du_{Fa}}{dt} = i_{Ia} - \dfrac{u_{Fa} - u_{La}}{R} \\ C'\dfrac{du_{Fb}}{dt} = i_{Ib} - \dfrac{u_{Fb} - u_{Lb}}{R} \\ C'\dfrac{du_{Fc}}{dt} = i_{Ic} - \dfrac{u_{Fc} - u_{Lc}}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L'\dfrac{di_{a}}{dt} = u_{La} - u_{a} \\ L'\dfrac{di_{b}}{dt} = u_{Lb} - u_{b} \\ L'\dfrac{di_{c}}{dt} = u_{Lc} - u_{c} \end{cases}$$

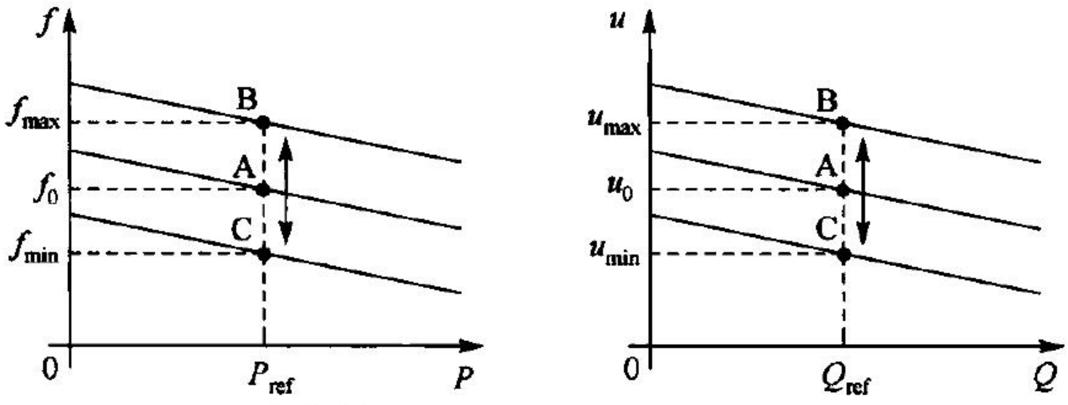
派克变换后==》

（2）逆变器的控制方法：双环控制 **SPWM** 调制的三相电压型逆变器控制系统



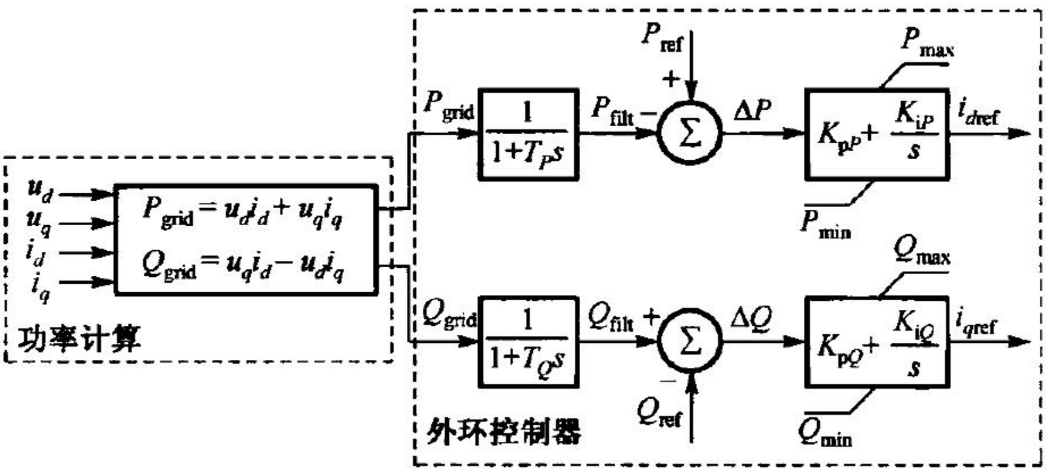
（3）恒功率控制（**P/Q** 控制）

目标：使输出的有功功率和无功功率等于其参考值

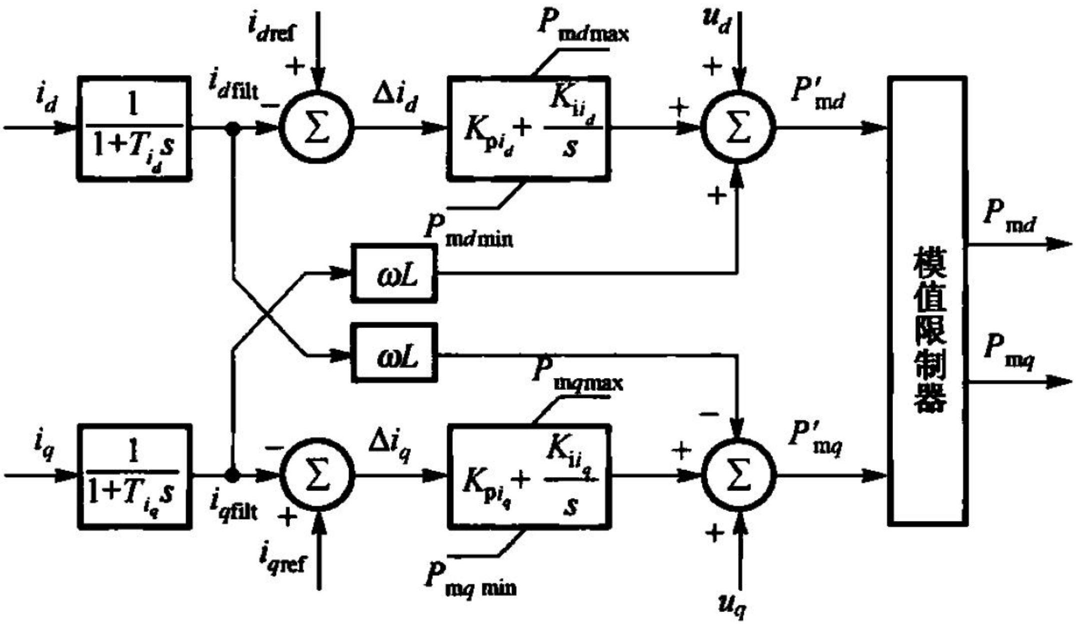


(a) 频率控制　　(b) 电压控制

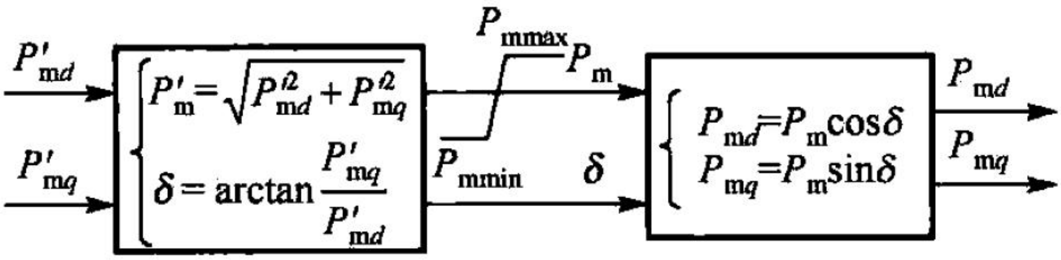
a)　恒功率控制（PQ 控制）外环控制器典型结构



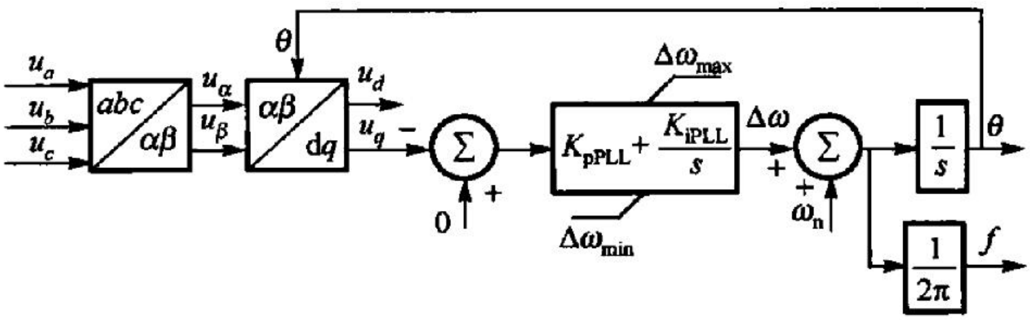
b)　内环控制器 - $dq0$ 旋转坐标系控制



c)　模值限制器



d) 锁相环

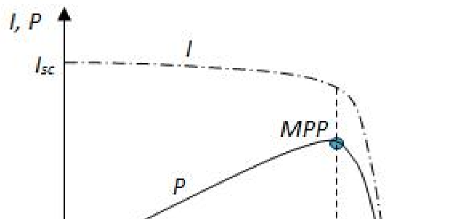


三、主要仪器设备

PSCAD 仿真软件

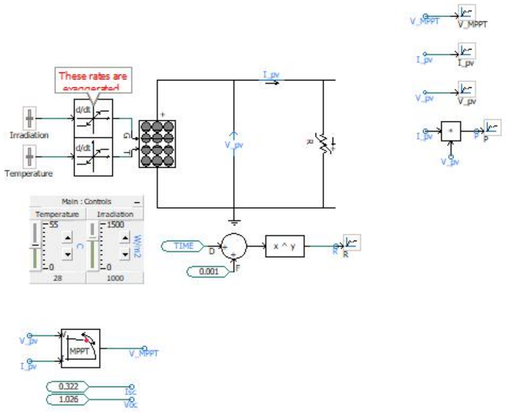
四、操作方法与实验步骤+实验数据记录和处理

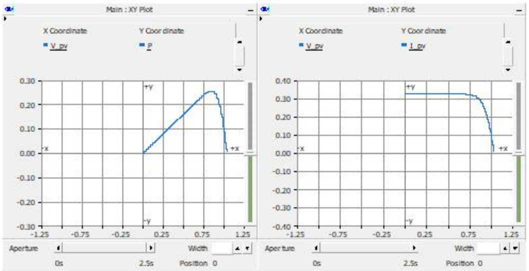
（1）最大功率点追踪控制太阳能控制器

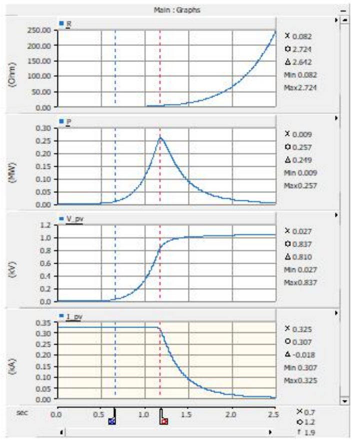


Typical *I-V* and *P-V* characteristics of a PV array

==》

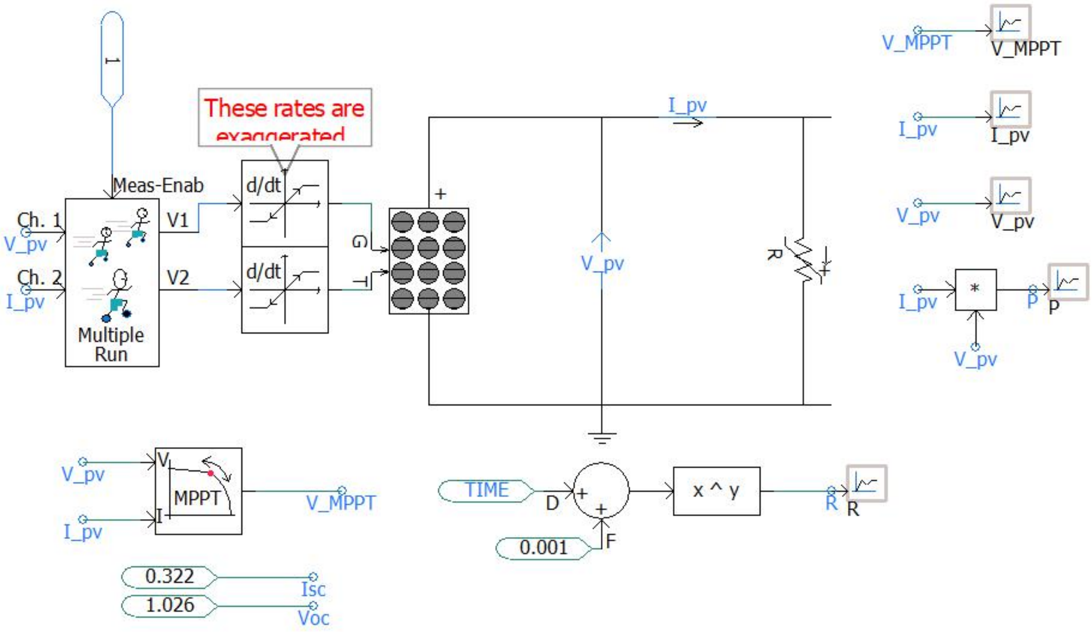






V_{MPP}=0.84kV， P_M=0.26MVA

==》



Multiple Run Output File

Run #	inradiation	temperature	Out # 1	Out # 2
1	28	100	0.6900083319	0.9755004900E-02
2	28	200	0.4773084545	0.1066498670E-01
3	28	300	0.2628309047	0.1157496850E-01
4	28	400	0.9055065867E-01	0.1248495030E-01
5	28	500	0.2116330007E-01	0.1339493210E-01
6	28	600	0.5392378958E-02	0.1430491390E-01
7	28	700	0.1718628089E-02	0.1521489570E-01
8	28	800	0.6646756208E-03	0.1612487750E-01
9	28	900	0.2988880886E-03	0.1703485930E-01
10	28	1000	0.1511335707E-03	0.1794484110E-01
11	28	1100	0.8384170826E-04	0.1885482290E-01
12	28	1200	0.5010411670E-04	0.1976480470E-01
13	28	1300	0.3181466591E-04	0.2067478650E-01
14	28	1400	0.2123951589E-04	0.2158476830E-01
15	28	1500	0.1478630268E-04	0.2249475010E-01
16	28	1600	0.1066481544E-04	0.2340473191E-01
17	28	1700	0.7928065898E-05	0.2431471371E-01
18	28	1800	0.6048808587E-05	0.2522469551E-01
19	28	1900	0.4720194481E-05	0.2613467731E-01
20	28	2000	0.3756598783E-05	0.2704465911E-01

The optimum occurred for run # 1 and has been repeated for the last run below:

Run #	inradiation	temperature	Out # 1	Out # 2
21	28	100	0.6900083319	0.9755004900E-02

Statistical Summary Based on 20 Runs:

----

	inradiation	temperature	Out # 1	Out # 2
Minimum:	28.00000000	100.0000000	0.3756598783E-05	0.9755004900E-02
Maximum:	28.00000000	2000.000000	0.6900083319	0.2704465911E-01
Mean:	28.00000000	1050.000000	0.7751611295E-01	0.1839983200E-01
Std Dev:	0.000000000	591.6079783	0.1865927019	0.5383524933E-02
2% Level:	28.00000000	-165.0142590	-.3056984511	0.7343423371E-02
98% Level:	28.00000000	2265.014259	0.4607306770	0.2945624063E-01

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Out # 1

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
0.3450398536E-01	80.00000000	80.00000000	20.00000000
0.1035044429	5.000000000	85.00000000	15.00000000
0.1725049004	0.000000000	85.00000000	15.00000000
0.2415053580	5.000000000	90.00000000	10.00000000
0.3105058155	0.000000000	90.00000000	10.00000000
0.3795062730	0.000000000	90.00000000	10.00000000
0.4485067305	5.000000000	95.00000000	5.000000000
0.5175071881	0.000000000	95.00000000	5.000000000
0.5865076456	0.000000000	95.00000000	5.000000000
0.6555081031	5.000000000	100.0000000	0.000000000

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Out # 2

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
0.1061948761E-01	10.00000000	10.00000000	90.00000000
0.1234845303E-01	10.00000000	20.00000000	80.00000000
0.1407741845E-01	10.00000000	30.00000000	70.00000000
0.1580638387E-01	10.00000000	40.00000000	60.00000000
0.1753534929E-01	10.00000000	50.00000000	50.00000000
0.1926431472E-01	10.00000000	60.00000000	40.00000000
0.2099328014E-01	10.00000000	70.00000000	30.00000000
0.2272224556E-01	10.00000000	80.00000000	20.00000000
0.2445121098E-01	10.00000000	90.00000000	10.00000000
0.2618017640E-01	10.00000000	100.0000000	0.000000000

Initial Seed Used in Random Number Generation

Initial Seed

2068492385

2	1	1000	0.5399578688E-05	0.6408871823E-03
3	2	1000	0.1079901278E-04	0.1281774365E-02
4	3	1000	0.1619830228E-04	0.1922661547E-02
5	4	1000	0.2159744720E-04	0.2563548729E-02
6	5	1000	0.2699644754E-04	0.3204435911E-02
7	6	1000	0.3239530332E-04	0.3845323094E-02
8	7	1000	0.3779401454E-04	0.4486210276E-02
9	8	1000	0.4319258121E-04	0.5127097458E-02
10	9	1000	0.4859100333E-04	0.5767984640E-02
11	10	1000	0.5398928092E-04	0.6408871823E-02
12	11	1000	0.5938741398E-04	0.7049759005E-02
13	12	1000	0.6478540252E-04	0.7690646187E-02
14	13	1000	0.7018324655E-04	0.8331533369E-02
15	14	1000	0.7558094608E-04	0.8972420552E-02
16	15	1000	0.8097850110E-04	0.9613307734E-02
17	16	1000	0.8637591164E-04	0.1025419492E-01
18	17	1000	0.9177317770E-04	0.1089508210E-01
19	18	1000	0.9717029928E-04	0.1153596928E-01
20	19	1000	0.1025672764E-03	0.1217685646E-01
21	20	1000	0.1079641091E-03	0.1281774365E-01
22	31	1000	0.1133607973E-03	0.1345863083E-01
23	22	1000	0.1187573410E-03	0.1409951801E-01
24	23	1000	0.1241537404E-03	0.1474040519E-01
25	24	1000	0.1295499953E-03	0.1538129237E-01
26	25	1000	0.1349461057E-03	0.1602217956E-01
27	26	1000	0.1403420718E-03	0.1666306674E-01
28	27	1000	0.1457378935E-03	0.1730395392E-01
29	28	1000	0.1511335707E-03	0.1794484110E-01
30	29	1000	0.1565291036E-03	0.1858572829E-01
31	30	1000	0.1619244921E-03	0.1922661547E-01
32	31	1000	0.1673197363E-03	0.1986750265E-01
33	32	1000	0.1727148360E-03	0.2050838983E-01
34	33	1000	0.1781097914E-03	0.2114927701E-01
35	34	1000	0.1835046025E-03	0.2179016420E-01
36	35	1000	0.1888992692E-03	0.2243105138E-01
37	36	1000	0.1942937916E-03	0.2307193856E-01
38	37	1000	0.1996881696E-03	0.2371282574E-01
39	38	1000	0.2050824033E-03	0.2435371293E-01
40	39	1000	0.2104764928E-03	0.2499460011E-01
41	40	1000	0.2158704379E-03	0.2563548729E-01
42	41	1000	0.2212642387E-03	0.2627637447E-01
43	42	1000	0.2266578952E-03	0.2691726165E-01
44	43	1000	0.2320514075E-03	0.2755814884E-01
45	44	1000	0.2374447755E-03	0.2819903602E-01
46	45	1000	0.2428379992E-03	0.2883992320E-01
47	46	1000	0.2482310786E-03	0.2948081038E-01
48	47	1000	0.2536240138E-03	0.3012169757E-01
49	48	1000	0.2590168048E-03	0.3076258475E-01
50	49	1000	0.2644094515E-03	0.3140347193E-01
51	50	1000	0.2698019540E-03	0.3204435911E-01

The optimum occurred for run # 51 and has been repeated for the last run below

Run #	inradiation	temperature	Out # 1	Out # 2
52	50	1000	0.2698019540E-03	0.3204435911E-01

Statistical Summary Based on 51 Runs:

	inradiation	temperature	Out # 1	Out # 2
Minimum:	0.000000000	1000.000000	0.000000000	0.000000000
Maximum:	50.00000000	1000.000000	0.2698019540E-03	0.3204435911E-01
Mean:	25.00000000	1000.000000	0.1349304611E-03	0.1602217956E-01
Std Dev:	14.86606875	0.000000000	0.8021788467E-04	0.9527472910E-02
2% Level:	-5.531172949	1000.000000	-.2981693459E-04	-.3544857845E-02
98% Level:	55.53117295	1000.000000	0.2996778568E-03	0.3558921696E-01

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Out # 1

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
0.1349009770E-04	9.803921569	9.803921569	90.19607843
0.4047029310E-04	9.803921569	19.60784314	80.39215686
0.6745048850E-04	9.803921569	29.41176471	70.58823529
0.9443068390E-04	9.803921569	39.21568627	60.78431373
0.1214108793E-03	9.803921569	49.01960784	50.98039216
0.1483910747E-03	9.803921569	58.82352941	41.17647059
0.1753712701E-03	9.803921569	68.62745098	31.37254902
0.2023514655E-03	9.803921569	78.43137255	21.56862745
0.2293316609E-03	9.803921569	88.23529412	11.76470588
0.2563118563E-03	11.76470588	100.0000000	0.000000000

Probability Density Functions (%) for Variable 2, Out # 2

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
0.1602217955E-02	9.803921569	9.803921569	90.19607843
0.4806653866E-02	9.803921569	19.60784314	80.39215686
0.8011089777E-02	9.803921569	29.41176471	70.58823529
0.1121552569E-01	9.803921569	39.21568627	60.78431373
0.1441996160E-01	9.803921569	49.01960784	50.98039216
0.1762439751E-01	9.803921569	58.82352941	41.17647059
0.2082883342E-01	9.803921569	68.62745098	31.37254902
0.2403326933E-01	9.803921569	78.43137255	21.56862745
0.2723770524E-01	9.803921569	88.23529412	11.76470588
0.3044214115E-01	11.76470588	100.0000000	0.000000000

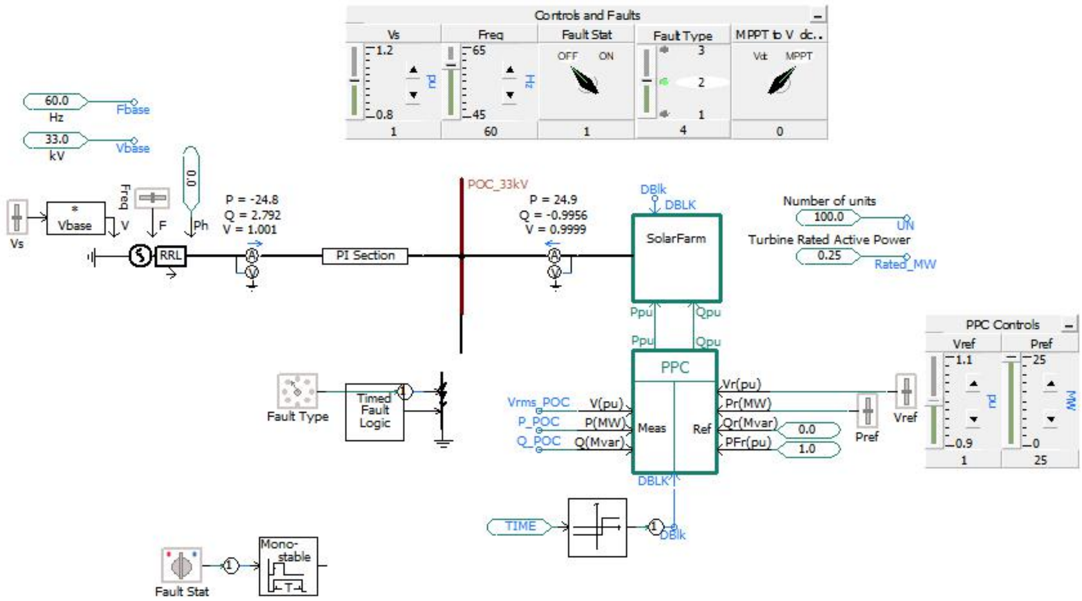
Initial Seed Used in Random Number Generation

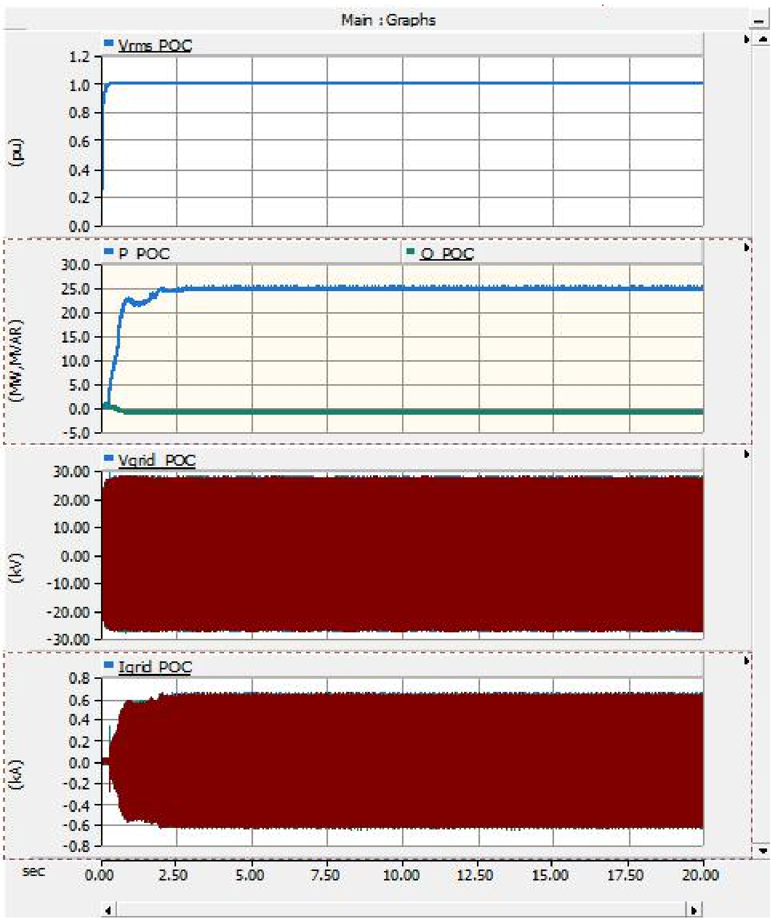
Initial Seed

2072173541

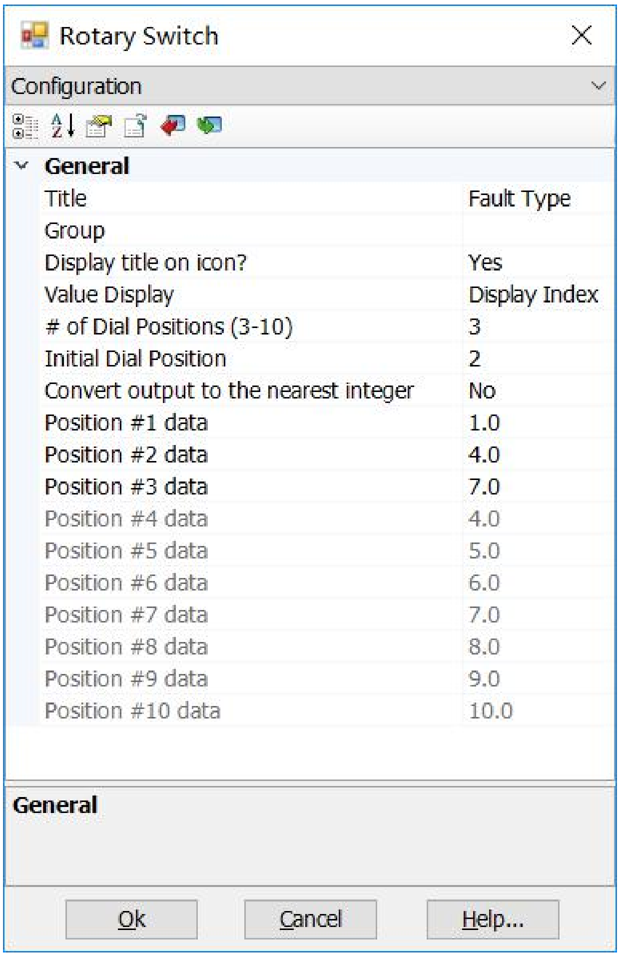
（2）示例故障仿真

无故障仿真：

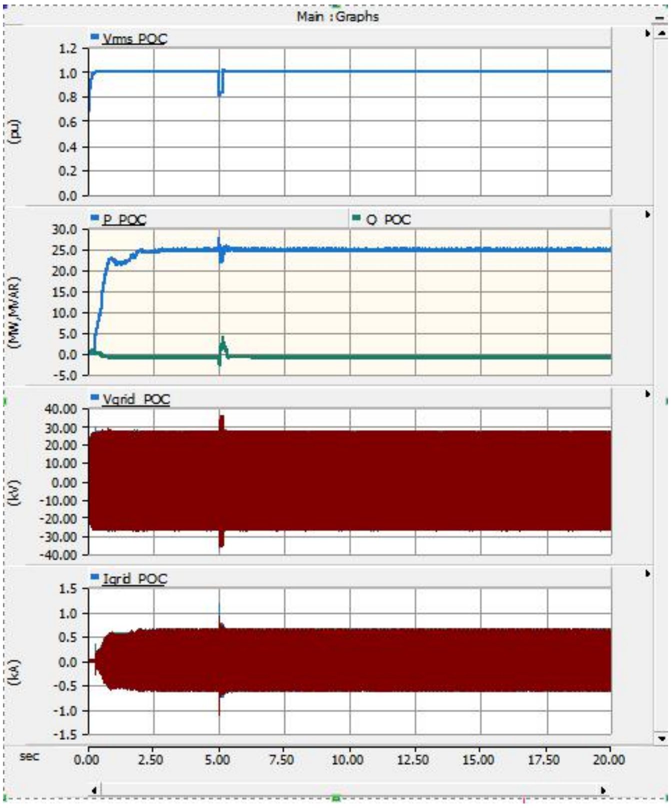




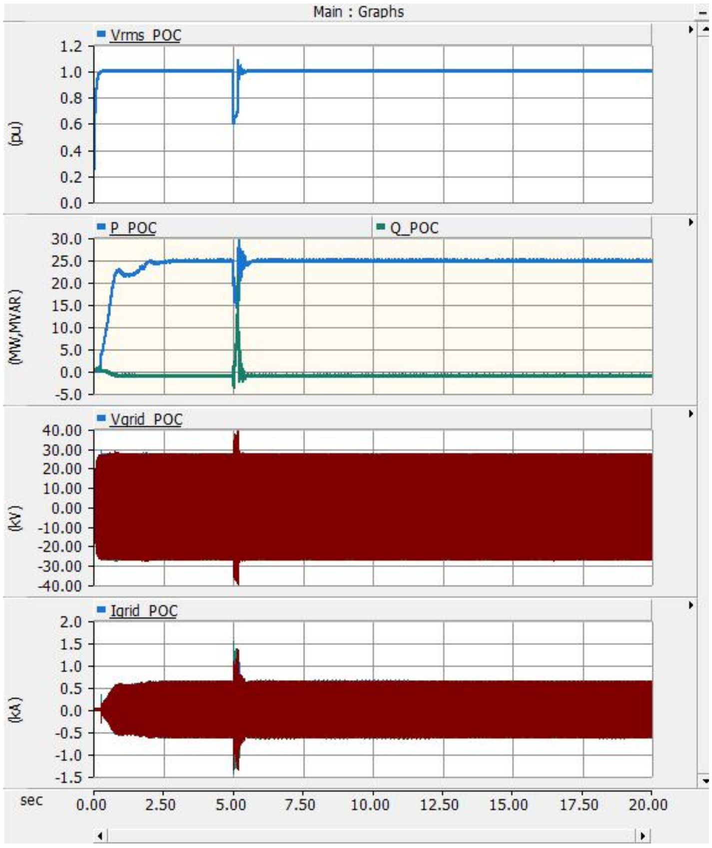
故障仿真：



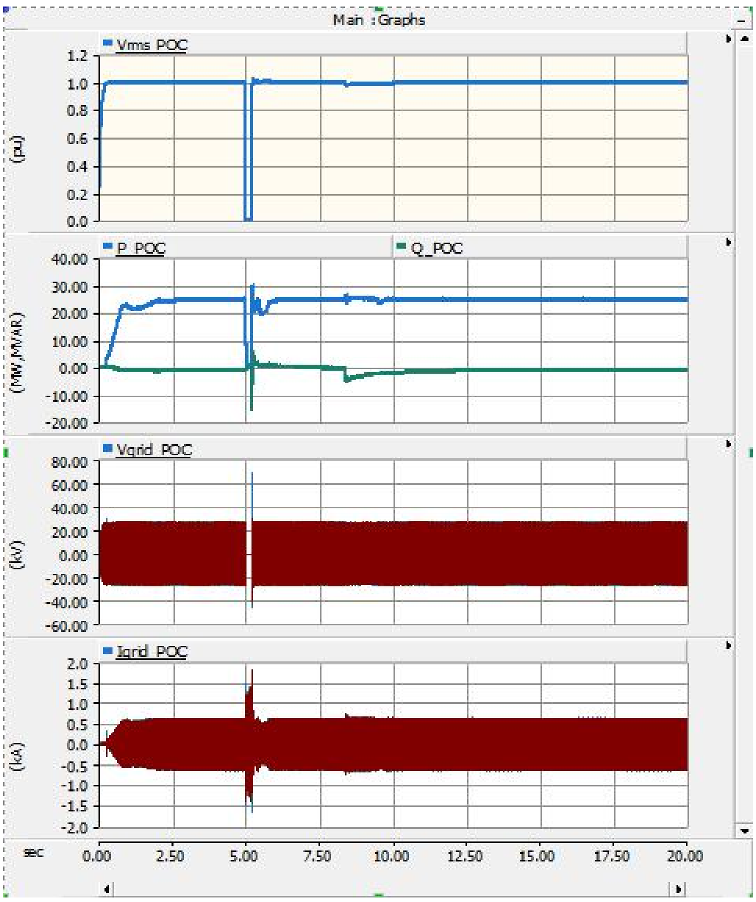
Fault Type = 1 时：



Fault Type = 2 时：



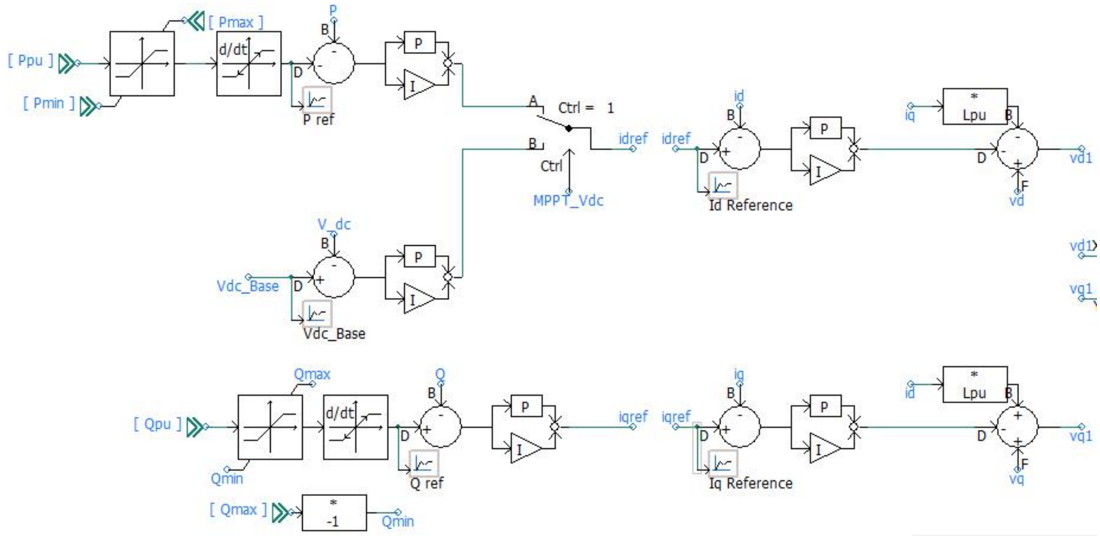
Fault Type = 3 时：

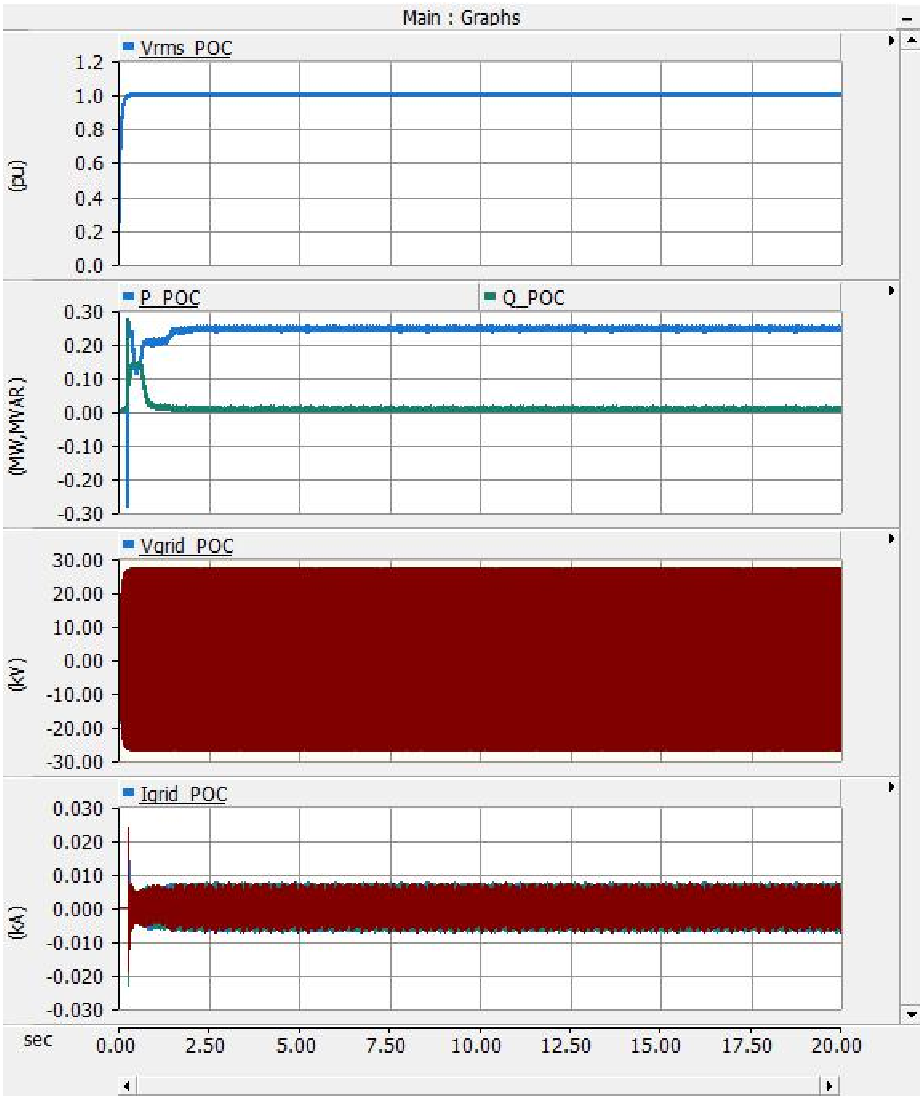


（3）自搭系统仿真

先搭恒功率系统。

（节选）外环控制器+内环控制器：

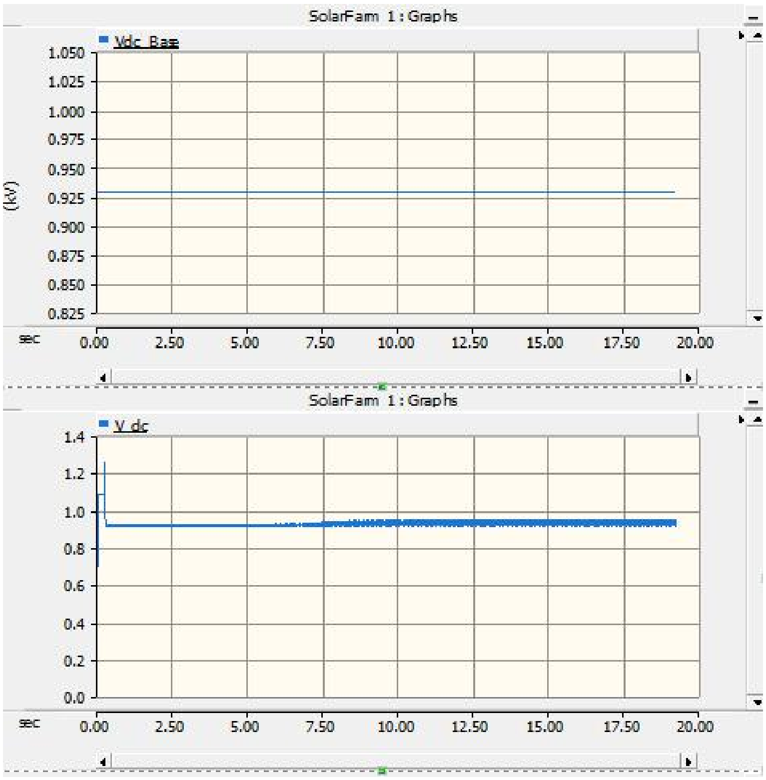




P=0.2515MVA，误差=0.6%

从恒 PQ 控制改成恒 Udc 恒 Q 控制——把恒 P 换成恒 Udc：

：P=0.2502MVA，误差=0.08%



五、实验结果与分析

仿真实验中恒 Udc 恒 Q 控制比恒 PQ 控制得到的输出功率更稳定，误差更小，效果更好。

六、讨论、心得

系统真的很复杂，都是王老师一点一点、一个模块一个模块地讲清楚的。这门课程让我更加了解了微电网，更加理解微电网的构成、运行及控制，初步掌握光伏、蓄电池、风能等发电技术，能简易设计微网结构并建模。