



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของระบบทดสอบ

ภาคผนวกนี้จะแสดงข้อมูลของแผนภาพเส้นเดียว (Single line diagram) ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบอัลกิริทึม โดยใช้ข้อมูลระบบทดสอบของ IEEE โดยระบบทดสอบได้แก่

- (1) ระบบทดสอบ IEEE 6-bus
- (2) ระบบทดสอบ IEEE 30-bus
- (3) ระบบทดสอบ IEEE 118-bus
- (4) ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์

ตาราง ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 6-bus

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	มุม	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ
1	1.05	0	0	0	170	38
2	1.10	-6.149	0	0	100	35
3	0.856	-13.824	55	13	0	0
4	0.953	-9.925	0	0	0	0
5	0.899	-13.421	30	18	0	0
6	0.934	-12.649	50	5	0	0

ตาราง ก.2 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 6-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
1	4	0.097	0.407	0.022	1	105
1	6	0.123	0.518	0.010	1	100
2	3	0.723	1.050	0.033	1	100
2	5	0.282	0.640	0.120	1	100
3	4	0.000	0.133	0.025	1	100
4	6	0.080	0.370	0.030	1	100
5	6	0.000	0.300	0.010	1	100

*Half-line charging susceptance in p.u.

ตาราง ก.3 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 30-bus

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ
1	1.05	0	0.0	0.0	43.79	-1.1
2	1.047	-0.723	21.7	12.7	57.96	22.89
3	1.034	-2.044	2.4	1.2	0	0
4	1.031	-2.432	7.6	1.6	0	0
5	1.032	-2.225	0.0	0.0	0	0
6	1.025	-2.794	0.0	0.0	0	0
7	1.019	-3.062	22.8	10.9	0	0
8	1.013	-3.203	30.0	30.0	0	0
9	1.031	-3.731	0.0	0.0	0	0
10	1.035	-4.217	5.8	2.0	0	0
11	1.031	-3.731	0.0	0.0	0	0
12	1.05	-3.973	11.2	7.5	0	0
13	1.084	-2.751	0.0	0.0	17.35	26.73
14	1.039	-4.505	6.2	1.6	0	0
15	1.041	-4.306	8.2	2.5	0	0
16	1.037	-4.356	3.5	1.8	0	0
17	1.03	-4.461	9.0	5.8	0	0

ตาราง ก.3 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 30-bus (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ
18	1.027	-4.974	3.2	0.9	0	0
19	1.022	-5.187	9.5	3.4	0	0
20	1.204	-4.997	2.2	0.7	0	0
21	1.041	-4.209	17.5	11.2	0	0
22	1.046	-4.087	0.0	0.0	23.07	28.94
23	1.054	-3.346	3.2	1.6	16.81	7.05
24	1.041	-3.594	8.7	6.7	0	0
25	1.05	-2.172	0.0	0.0	0	0
26	1.033	-2.571	3.5	2.3	0	0
27	1.064	-1.045	0.0	0.0	32.63	14.37
28	1.028	-2.766	0.0	0.0	0	0
29	1.045	-2.191	2.4	0.9	0	0
30	1.034	-2.992	10.6	1.9	0	0

ตาราง ก.4 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 30-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
1	2	0.02	0.06	0.015	1	130
1	3	0.05	0.19	0.01	1	130
2	4	0.06	0.17	0.01	1	65
3	4	0.01	0.04	0	1	130
2	5	0.05	0.2	0.01	1	130
2	6	0.06	0.18	0.01	1	65
4	6	0.01	0.04	0	1	90
5	7	0.05	0.12	0.005	1	70
6	7	0.03	0.08	0.005	1	130
6	8	0.01	0.04	0	1	35
6	9	0	0.21	0	1	65

ตาราง ก.4 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 30-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
6	10	0	0.56	0	1	32
9	11	0	0.21	0	1	65
9	10	0	0.11	0	1	65
4	12	0	0.26	0	1	65
12	13	0	0.14	0	1	65
12	14	0.12	0.26	0	1	32
12	15	0.07	0.13	0	1	32
12	16	0.09	0.2	0	1	32
14	15	0.22	0.2	0	1	16
16	17	0.08	0.19	0	1	16
15	18	0.11	0.22	0	1	16
18	19	0.06	0.13	0	1	16
19	20	0.03	0.07	0	1	32
10	20	0.09	0.21	0	1	32
10	17	0.03	0.08	0	1	32
10	21	0.03	0.07	0	1	32
10	22	0.07	0.15	0	1	32
21	22	0.01	0.02	0	1	32
15	23	0.1	0.2	0	1	16
22	24	0.12	0.18	0	1	16
23	24	0.13	0.27	0	1	16
24	25	0.19	0.33	0	1	16
25	26	0.25	0.38	0	1	16
25	27	0.11	0.21	0	1	16
28	27	0	0.4	0	1	65
27	29	0.22	0.42	0	1	16
27	30	0.32	0.6	0	1	16
29	30	0.24	0.45	0	1	16

ตาราง ก.4 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 30-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
8	28	0.06	0.2	0.01	1	32
6	28	0.02	0.06	0.005	1	32

*Half-line charging susceptance in p.u.

ตาราง ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118-bus

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ
1	0.955	0	51	27	0	0
2	0.971	0	20	9	0	0
3	0.968	0	39	10	0	0
4	0.998	0	39	12	0	0
5	1.002	0	0	0	0	0
6	0.990	0	52	22	0	0
7	0.989	0	19	2	0	0
8	1.015	0	28	0	0	0
9	1.043	0	0	0	0	0
10	1.050	0	0	0	150	0
11	0.985	0	70	23	0	0
12	0.990	0	47	10	85	0
13	0.968	0	34	16	0	0
14	0.984	0	14	1	0	0
15	0.970	0	90	30	0	0
16	0.984	0	25	10	0	0
17	0.995	0	11	3	0	0
18	0.973	0	60	34	0	0
19	0.963	0	45	25	0	0
20	0.958	0	18	3	0	0
21	0.959	0	14	8	0	0
22	0.970	0	10	5	0	0

ตาราง ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
23	1.000	0	7	3	0	0
24	0.992	0	13	0	0	0
25	1.050	0	0	0	150	0
26	1.015	0	0	0	314	0
27	0.968	0	71	13	0	0
28	0.962	0	17	7	0	0
29	0.963	0	24	4	0	0
30	0.968	0	0	0	0	0
31	0.967	0	43	27	7	0
32	0.964	0	59	13	0	0
33	0.972	0	23	9	0	0
34	0.986	0	59	26	0	0
35	0.981	0	33	9	0	0
36	0.980	0	31	17	0	0
37	0.992	0	0	0	0	0
38	0.962	0	0	0	0	0
39	0.970	0	27	11	0	0
40	0.970	0	66	23	0	0
41	0.967	0	37	10	0	0
42	0.985	0	96	23	0	0
43	0.978	0	18	7	0	0
44	0.985	0	16	8	0	0
45	0.987	0	53	22	0	0
46	1.005	0	28	10	19	0
47	1.017	0	34	0	0	0
48	1.021	0	20	11	0	0
49	1.025	0	87	30	204	0
50	1.001	0	17	4	0	0

ตาราง ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ
51	0.967	0	17	8	0	0
52	0.957	0	18	5	0	0
53	0.946	0	23	11	0	0
54	0.955	0	113	32	48	0
55	0.952	0	63	22	0	0
56	0.954	0	84	18	0	0
57	0.971	0	12	3	0	0
58	0.959	0	12	3	0	0
59	0.985	0	277	113	155	0
60	0.993	0	78	3	0	0
61	0.995	0	0	0	160	0
62	0.998	0	77	14	0	0
63	0.969	0	0	0	0	0
64	0.984	0	0	0	0	0
65	1.005	0	0	0	391	0
66	1.050	0	39	18	392	0
67	1.020	0	28	7	0	0
68	1.003	0	0	0	0	0
69	1.035	0	0	0	516.4	0
70	0.984	0	66	20	0	0
71	0.987	0	0	0	0	0
72	0.980	0	12	0	0	0
73	0.991	0	6	0	0	0
74	0.958	0	68	27	0	0
75	0.967	0	47	11	0	0
76	0.943	0	68	36	0	0
77	1.006	0	61	28	0	0
78	1.003	0	71	26	0	0

ตาราง ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
79	1.009	0	39	32	0	0
80	1.040	0	130	26	477	0
81	0.997	0	0	0	0	0
82	0.989	0	54	27	0	0
83	0.985	0	20	10	0	0
84	0.980	0	11	7	0	0
85	0.985	0	24	15	0	0
86	0.987	0	21	10	0	0
87	1.015	0	0	0	4	0
88	0.987	0	48	10	0	0
89	1.005	0	0	0	607	0
90	0.985	0	163	42	0	0
91	0.980	0	10	0	0	0
92	0.993	0	65	10	0	0
93	0.987	0	12	7	0	0
94	0.991	0	30	16	0	0
95	0.981	0	42	31	0	0
96	0.993	0	38	15	0	0
97	1.011	0	15	9	0	0
98	1.024	0	34	8	0	0
99	1.010	0	42	0	0	0
100	1.017	0	37	18	252	0
101	0.993	0	22	15	0	0
102	0.991	0	5	3	0	0
103	1.001	0	23	16	40	0
104	0.971	0	38	25	0	0
105	0.965	0	31	26	0	0
106	0.962	0	43	16	0	0

ตาราง ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ
107	0.952	0	50	12	0	0
108	0.967	0	2	1	0	0
109	0.967	0	8	3	0	0
110	0.973	0	39	30	0	0
111	0.980	0	0	0	36	0
112	0.975	0	68	13	0	0
113	0.993	0	6	0	0	0
114	0.960	0	8	3	0	0
115	0.960	0	22	7	0	0
116	1.005	0	184	0	0	0
117	0.974	0	20	8	0	0
118	0.949	0	33	15	0	0

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
1	2	0.0303	0.0999	0.0127	1	100
1	3	0.0129	0.0424	0.00541	1	100
4	5	0.00176	0.00798	0.00105	1	200
3	5	0.0241	0.108	0.0142	1	130
5	6	0.0119	0.054	0.00713	1	130
6	7	0.00459	0.0208	0.00275	1	100
8	9	0.00244	0.0305	0.581	1	650
8	5	0	0.0267	0	0.985	650
9	10	0.00258	0.0322	0.615	1	650
4	11	0.0209	0.0688	0.00874	1	130
5	11	0.0203	0.0682	0.00869	1	130
11	12	0.00595	0.0196	0.00251	1	100

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
2	12	0.0187	0.0616	0.00786	1	100
3	12	0.0484	0.16	0.0203	1	100
7	12	0.00862	0.034	0.00437	1	100
11	13	0.02225	0.0731	0.00938	1	100
12	14	0.0215	0.0707	0.00908	1	100
13	15	0.0744	0.2444	0.03134	1	100
14	15	0.0595	0.195	0.0251	1	130
12	16	0.0212	0.0834	0.0107	1	130
15	17	0.0132	0.0437	0.0222	1	200
16	17	0.0454	0.1801	0.0233	1	130
17	18	0.0123	0.0505	0.00649	1	130
18	19	0.01119	0.0493	0.00571	1	300
19	20	0.0252	0.117	0.0149	1	300
15	19	0.012	0.0394	0.00505	1	300
20	21	0.0183	0.0849	0.0108	1	300
21	22	0.0209	0.097	0.0123	1	300
22	23	0.0342	0.159	0.0202	1	300
23	24	0.0135	0.0492	0.0249	1	600
23	25	0.0156	0.08	0.0432	1	300
26	25	0	0.0382	0	0.96	600
25	27	0.0318	0.163	0.0882	1	300
27	28	0.01913	0.0855	0.0108	1	100
28	29	0.0237	0.0943	0.0119	1	100
30	17	0	0.0388	0	0.96	600
8	30	0.00431	0.0504	0.257	1	600
26	30	0.00799	0.086	0.454	1	600
17	31	0.0474	0.1563	0.01995	1	130
29	31	0.0108	0.0331	0.00415	1	100

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
23	32	0.0317	0.1153	0.05865	1	300
31	32	0.0298	0.0985	0.01255	1	100
27	32	0.0229	0.0755	0.00963	1	130
15	33	0.038	0.1244	0.01597	1	300
19	34	0.0752	0.247	0.0316	1	300
35	36	0.00224	0.0102	0.00134	1	100
35	37	0.011	0.0497	0.00659	1	100
33	37	0.0415	0.142	0.0183	1	300
34	36	0.00871	0.0268	0.00284	1	100
34	37	0.00256	0.0094	0.00492	1	300
38	37	0	0.0375	0	0.935	600
37	39	0.0321	0.106	0.0135	1	130
37	40	0.0593	0.168	0.021	1	130
30	38	0.00464	0.054	0.211	1	600
39	40	0.0184	0.0605	0.00776	1	130
40	41	0.0145	0.0487	0.00611	1	130
40	42	0.0555	0.183	0.0233	1	100
41	42	0.041	0.135	0.0172	1	100
43	44	0.0608	0.2454	0.03034	1	130
34	43	0.0413	0.1681	0.02113	1	130
44	45	0.0224	0.0901	0.0112	1	130
45	46	0.04	0.1356	0.0166	1	100
46	47	0.038	0.127	0.0158	1	100
46	48	0.0601	0.189	0.0236	1	100
47	49	0.0191	0.0625	0.00802	1	130
42	49	0.0715	0.323	0.043	1	130
42	49	0.0715	0.323	0.043	1	130
45	49	0.0684	0.186	0.0222	1	130

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
48	49	0.0179	0.0505	0.00629	1	130
49	50	0.0267	0.0752	0.00937	1	130
49	51	0.0486	0.137	0.0171	1	130
51	52	0.0203	0.0588	0.00698	1	100
52	53	0.0405	0.1635	0.02029	1	100
53	54	0.0263	0.122	0.0155	1	100
49	54	0.073	0.289	0.0369	1	100
49	54	0.0869	0.291	0.0365	1	100
54	55	0.0169	0.0707	0.0101	1	100
54	56	0.00275	0.00955	0.00366	1	100
55	56	0.00488	0.0151	0.00187	1	100
56	57	0.0343	0.0966	0.0121	1	100
50	57	0.0474	0.134	0.0166	1	100
56	58	0.0343	0.0966	0.0121	1	100
51	58	0.0255	0.0719	0.00894	1	100
54	59	0.0503	0.2293	0.0299	1	100
56	59	0.0825	0.251	0.02845	1	100
56	59	0.0803	0.239	0.0268	1	100
55	59	0.04739	0.2158	0.02823	1	100
59	60	0.0317	0.145	0.0188	1	100
59	61	0.0328	0.15	0.0194	1	130
60	61	0.00264	0.0135	0.00728	1	300
60	62	0.0123	0.0561	0.00734	1	100
61	62	0.00824	0.0376	0.0049	1	100
63	59	0	0.0386	0	0.96	300
63	64	0.00172	0.02	0.108	1	300
64	62	0	0.0268	0	0.985	300
38	65	0.00901	0.0986	0.523	1	600

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
64	65	0.00269	0.0302	0.19	1	600
49	66	0.018	0.0919	0.0124	1	300
49	66	0.018	0.0919	0.0124	1	300
62	66	0.0482	0.218	0.0289	1	100
62	67	0.0258	0.117	0.0155	1	100
65	66	0	0.037	0	0.935	120
66	67	0.0224	0.1015	0.01341	1	100
65	68	0.00138	0.016	0.319	1	600
47	69	0.0844	0.2778	0.03546	1	130
49	69	0.0985	0.324	0.0414	1	130
68	69	0	0.037	0	0.935	600
69	70	0.03	0.127	0.061	1	300
24	70	0.00221	0.4115	0.05099	1	300
70	71	0.00882	0.0355	0.00439	1	300
24	72	0.0488	0.196	0.0244	1	300
71	72	0.0446	0.18	0.02222	1	300
71	73	0.00866	0.0454	0.00589	1	110
70	74	0.0401	0.1323	0.01684	1	300
70	75	0.0428	0.141	0.018	1	300
69	75	0.0405	0.122	0.062	1	300
74	75	0.0123	0.0406	0.00517	1	300
76	77	0.0444	0.148	0.0184	1	130
69	77	0.0309	0.101	0.0519	1	300
75	77	0.0601	0.1999	0.02489	1	300
77	78	0.00376	0.0124	0.00632	1	140
78	79	0.00546	0.0244	0.00324	1	130
77	80	0.017	0.0485	0.0236	1	300
77	80	0.0294	0.105	0.0114	1	300

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
79	80	0.0156	0.0704	0.00935	1	130
68	81	0.00175	0.0202	0.404	1	300
81	80	0	0.037	0	0.935	300
77	82	0.0298	0.0853	0.04087	1	100
82	83	0.0112	0.03665	0.01898	1	130
83	84	0.0625	0.132	0.0129	1	100
83	85	0.043	0.148	0.0174	1	130
84	85	0.0302	0.0641	0.00617	1	100
85	86	0.035	0.123	0.0138	1	130
86	87	0.02828	0.2074	0.02225	1	130
85	88	0.02	0.102	0.0138	1	130
85	89	0.0239	0.173	0.0235	1	130
88	89	0.0139	0.0712	0.00967	1	200
89	90	0.0518	0.188	0.0264	1	200
89	90	0.0238	0.0997	0.053	1	130
90	91	0.0254	0.0836	0.0107	1	130
89	92	0.0099	0.0505	0.0274	1	300
89	92	0.0393	0.1581	0.0207	1	300
91	92	0.0387	0.1272	0.01634	1	100
92	93	0.0258	0.0848	0.0109	1	130
92	94	0.0481	0.158	0.0203	1	130
93	94	0.0223	0.0732	0.00938	1	100
94	95	0.0132	0.0434	0.00555	1	100
80	96	0.0356	0.182	0.0247	1	130
82	96	0.0162	0.053	0.0272	1	100
94	96	0.0269	0.0869	0.0115	1	100
80	97	0.0183	0.0934	0.0127	1	130
80	98	0.0238	0.108	0.0143	1	130

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
80	99	0.0454	0.206	0.0273	1	130
92	100	0.0648	0.295	0.0236	1	130
94	100	0.0178	0.058	0.0302	1	135
95	96	0.0171	0.0547	0.00737	1	100
96	97	0.0173	0.0885	0.012	1	100
98	100	0.0397	0.179	0.0238	1	100
99	100	0.018	0.0813	0.0108	1	100
100	101	0.0277	0.1262	0.0164	1	100
92	102	0.0123	0.0559	0.00732	1	100
101	102	0.0246	0.112	0.0147	1	100
100	103	0.016	0.0525	0.0268	1	300
100	104	0.0451	0.204	0.02705	1	130
103	104	0.0466	0.1584	0.02035	1	130
103	105	0.0535	0.1625	0.0204	1	130
100	106	0.0605	0.229	0.031	1	130
104	105	0.00994	0.0378	0.00493	1	130
105	106	0.014	0.0547	0.00717	1	100
105	107	0.053	0.183	0.0236	1	100
105	108	0.0261	0.0703	0.00922	1	100
106	107	0.053	0.183	0.0236	1	100
108	109	0.0105	0.0288	0.0038	1	100
103	110	0.03906	0.1813	0.02305	1	130
109	110	0.0278	0.0762	0.0101	1	100
110	111	0.022	0.0755	0.01	1	120
110	112	0.0247	0.064	0.031	1	130
17	113	0.00913	0.0301	0.00384	1	138
32	113	0.0615	0.203	0.0259	1	130
32	114	0.0135	0.0612	0.00814	1	100

ตาราง ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 118-bus (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
27	115	0.0164	0.0741	0.00986	1	100
114	115	0.0023	0.0104	0.00138	1	100
68	116	0.00034	0.00405	0.082	1	307
12	117	0.0329	0.14	0.0179	1	100
75	118	0.0145	0.0481	0.00599	1	130
76	118	0.0164	0.0544	0.00678	1	130

*Half-line charging susceptance in p.u.

ตาราง ก.7 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ
1	1.05	0	0	0	3.52	0.93
2	1.02	0	0	0	0	0
3	1.01	0	0	0	0	0
4	1.00	0	0	0	0	0
5	1.00	0	0	0	0	0
6	1.001	0	0	0	0	0
7	1.021	0	0.140	0.077	0	0
8	1.04	0	0	0	0	0
9	1.032	0	0	0	0	0
10	1.018	0	0	0	0	0
11	1.039	0	0	0	0	0
12	1.022	0	0	0	0	0
13	1.028	0	0	0	0	0
14	1.048	0	0.088	0.048	0	0
15	1.033	0	0	0	0	0
16	1.05	0	0	0	0	0
17	1.035	0	0	0	0	0
18	1.047	0	1.219	0.609	0	0

ตาราง ก.7 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน (p.u.)		กำลังไฟฟ้าโหลด		เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	ขนาด	ขนาด	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ
19	1.022	0	0	0	0	0
20	1.023	0	0	0	0	0
21	1.04	0	0	0	0	0
22	1.01	0	0.088	0.048	0	0
23	1.011	0	0	0	0	0
24	1.017	0	1.750	0.968	0	0
25	1.01	0	0	0	0	0
26	1.01	0	0	0	0	0

ตาราง ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
1	2	0.0267	0.0151	0.000184	1	100
2	3	0.0121	0.0230	0.001163	1	100
3	4	0.0278	0.0529	0.000482	1	100
4	5	0.0468	0.0658	0.004539	1	100
5	6	0.0366	0.0697	0.003530	1	100
6	7	0.0359	0.0683	0.003458	1	100
6	8	0.0108	0.0061	0.000275	1	100
8	9	0.0126	0.0241	0.001218	1	100
9	10	0.0126	0.0241	0.001218	1	100
10	11	0.037	0.0070	0.00354	1	100
11	12	0.0807	0.01536	0.007772	1	100
12	13	0.098	0.0187	0.000946	1	100
13	14	0.0267	0.0151	0.000678	1	100
12	15	0.0228	0.0128	0.000578	1	100
15	16	0.0108	0.0205	0.001040	1	100
16	17	0.0121	0.0230	0.001163	1	100

ตาราง ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอกแตนซ์ (p.u.)	$\frac{1}{2}B$ (p.u.)*	a	Rating MVA
17	18	0.0226	0.0431	0.002181	1	100
17	19	0.0247	0.0139	0.00626	1	100
19	20	0.0278	0.0529	0.002677	1	100
20	21	0.0278	0.0529	0.002677	1	100
21	22	0.0178	0.0100	0.00451	1	100
21	23	0.0140	0.0267	0.001349	1	100
23	24	0.0240	0.0136	0.00610	1	100
23	25	0.015	0.0029	0.00144	1	100
25	26	0.015	0.0029	0.00144	1	100

ภาคผนวก ข

ผลจากการทดสอบ

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 6-bus กรณีที่ N_DG=1

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	185.879	28.952	2,611,006.42	25,132,052.25	6/2.202	1/5.555
2	185.861	28.936	3,368,056.83	24,373,577.13	3/4.108	1/3.683
3	185.776	28.856	3,505,739.66	24,231,665.59	4/3.986	6/4.631
4	185.560	28.653	2,064,618.60	25,660,898.30	5/1.577	1/4.842
5	185.023	28.168	3,298,454.09	24,382,263.50	2/3.878	6/4.006
6	185.216	28.339	3,531,221.72	24,168,534.02	3/3.225	6/6.832
7	186.002	29.071	5,040,883.90	22,705,871.71	2/5.849	6/6.335
8	185.718	28.800	2,255,398.09	25,479,493.63	6/2.892	3/2.080
9	186.424	29.481	1,671,111.17	26,085,867.65	2/2.293	4/1.129
10	186.622	29.679	5,301,844.78	22,455,265.15	4/7.226	5/3.713

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 6-bus กรณีที่ N_{DG}=2

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	159.512	24.598	6,254,994.03	2,205,051.31	3/3.605 6/5.349	1/3.203
2	186.003	29.070	3,468,261.23	24,279,616.95	1/2.103 4/2.118	3/3.627
3	155.456	22.280	5,563,908.37	1,373,425.65	5/6.154	6/1.557 2/6.263
4	186.197	29.258	5,139,874.56	22,613,575.16	3/5.527	4/4.601 2/3.058
5	188.218	42.581	4,976,327.84	12,876,394.14	1/6.469	6/1.783 4/2.562
6	186.317	29.375	2,958,033.70	24,797,697.95	5/2.269	4/4.582 6/2.330
7	186.361	29.454	3,472,291.49	24,253,292.19	6/3.495 5/1.603	3/1.429
8	186.658	29.715	3,532,578.35	24,224,300.02	5/1.897	6/5.045 2/5.441
9	187.033	30.1	3,222,072.29	24,526,652.71	6/3.294	1/4.175 2/1.096
10	186.654	29.712	5,923,040.63	21,833,719.92	4/6.923	3/7.306

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_{DG}=1

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	441.727	33.505	2,928,514.84	212,866,595.25	9/3.879	22/2.359
2	458.768	42.534	3,219,973.01	219,593,910.43	23/4.321	9/2.441
3	455.782	37.769	3,347,509.49	221,025,400.06	8/3.647	17/4.86

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_DG=1 (ต่อ)

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
4	446.268	40.407	2,552,702.40	211,174,890.23	23/2.979	10/3.161
5	462.326	44.968	3,033,280.37	220,765,368.74	18/4.398	13/1.401
6	455.235	46.476	3,580,875.06	212,685,139.65	12/4.166	16/4.47
7	445.077	38.168	2,556,916.26	212,089,072.04	22/1.386	19/7.554
8	446.301	37.499	2,755,736.23	213,547,991.19	13/2.085	7/6.518
9	445.264	38.819	1,906,082.23	212,332,397.30	6/1.546	144.223
10	454.279	38.419	3,893,836.50	218,592,527.72	21/4.944	14/3.724

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_DG=2

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	453.942	40.295	5,104,315.78	215,442,927.23	19/1.565 30/3.068	19/7.034 18/2.921
2	464.904	49.282	3,199,658.12	219,078,211.38	28/1.329 16/1.324	29/1.451 20/5.477
3	449.415	40.853	2,817,370.24	213,276,271.34	23/3.122	17/3.943
4	461.22	47.388	4,230,528.45	216,479,205.94	11/6.460	11/1.058
5	458.622	43.731	5,331,530.29	216,305,785.61	5/5.590	28/4.989 8/3.349
6	451.768	41.981	2,912,354.06	214,253,847.17	11/1.152	9/6.811 18/2.963
7	453.228	42.039	2,725,904.09	215,667,823.45	12/1.219 20/1.704	11/1.865 27/2.222
8	444.004	36.625	2,172,495.90	212,884,271.98	13/1.274	20/6.154

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_DG=2 (ต่อ)

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
9	454.063	37.585	3,007,935.056	220,019,650.02	18/4.076	11/1.005, 15/1.168
10	454.615	44.437	2,683,477.503	214,825,372.59	11/2.556	15/2.768, 23/2.134

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_DG=3

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	454.703	43.248	4,968,430.34	213,659,498.10	6/1.532	5/7.082 19/4.715 4/6.068
2	439.783	34.864	1,785,386.40	211,116,656.02	30/1.574	10/3.611
3	463.900	51.326	4,693,794.57	214,913,994.49	21/3.497	28/3.188 15/5.694 25/2.368
4	442.425	37.595	3,181,920.76	209,642,072.68	14/2.583	13/5.837 16/1.208
5	454.635	42.866	4,012,925.41	214,889,298.38	6/1.474	1/5.645 5/2.595 21/5.540
6	454.703	47.268	3,172,483.01	211,933,417.05	7/3.247	4/5.178
7	448.53	38.511	3,266,195.16	214,104,001.61	8/2.412	22/7.889
8	452.033	44.585	3,581,787.90	211,535,602.72	8/1.888	27/4.073 18/3.446 23/3.210

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 30-bus กรณีที่ N_{DG}=3 (ต่อ)

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
9	445.376	37.221	3,519,373.39	212,216,848.54	5/1.153	16/7.212 24/3.442 26/1.815
10	454.372	44.775	3,381,259.32	213,618,144.23	12/2.312	10/7.601 17/1.074

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 118-bus กรณีที่ N_{DG}=1

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	2555.029	166.625	2221645.243	950763465.11	94/2.812	71/2.150
2	2530.475	152.649	2048145.825	941669180.91	83/1.312	81/5.496
3	2493.729	129.907	2073261.379	929377839.00	88/1.015	46/6.424
4	2545.951	147.849	3602702.979	957877073.31	1/4.797	83/2.836
5	2547.669	161.468	6398921.402	944656156.81	103/7.717	3/7.240
6	2488.068	122.981	3692666.356	928866545.61	10/3.288	70/7.378
7	2506.518	151.283	2035336.971	921893123.24	33/2.836	86/1.256
8	2505.148	139.702	1256755.110	931616677.02	94/1.446	111/1.613
9	2457.542	102.796	3387284.536	920113161.65	115/3.22	70/6.206
10	2496.68	132.594	3148811.575	928532636.47	47/3.811	62/3.526

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 118-bus กรณีที่ N_{DG}=2

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	2,507.074	148.079	2,344,769.514	924,877,389.32	9/1.010	35/7.643
2	2,506.933	137.762	3,624,049.032	932,512,134.80	98/1.239 52/1.664	11/2.964 89/5.167
3	2,482.162	121.522	2,145,045.535	926,518,364.64	29/1.607	27/5.116
4	2,500.590	127.204	3,316,508.848	936,512,787.97	37/3.189	96/5.979
5	2,513.937	145.39	2,479,963.881	933,109,611.83	36/1.741	88/6.237
6	2,514.078	145.028	3,262,152.898	932,768,401.06	61/1.813	117/7.333 96/2.182
7	2,514.956	138.322	4,284,546.588	938,389,235.05	35/4.385	43/6.994
8	2,493.949	131.395	5,805,599.837	924,534,603.18	59/1.711 23/3.083	34/6.768 67/5.859
9	2,556.101	157.795	5,226,825.043	956,432,313.92	10/6.393	62/4.293 88/1.374
10	2,511.499	141.900	4,494,817.559	932,015,914.79	46/1.855 84/4.528	93/2.445

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 118-bus กรณีที่ N_{DG}=3

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	2,503.471	129.820	4,024,919.590	936,035,896.55	38/3.497	100/4.644 7/3.634
2	2,468.465	124.834	4,687,601.745	909,075,830.27	26/4.712	64/5.384 11/2.504
3	2,515.213	122.562	3,984,427.425	952,720,586.30	89/2.649 31/2.617	18/3.245

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบ IEEE 118-bus กรณีที่ N_DG=3 (ต่อ)

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
4	2,537.338	149.004	4,759,678.156	948,164,149.04	14/5.791	72/2.292 63/2.953
5	2,512.794	126.081	5,667,695.697	945,835,627.41	67/6.252	11/2.267 13/1.305 70/4.443
6	2,503.540	128.308	5,995,528.175	935,450,217.29	105/5.514	52/7.766 86/3.729
7	2,484.718	132.956	5,700,599.274	915,185,376.51	75/5.292	3/3.041 108/5.145 87/2.610
8	2,503.181	131.984	4,135,057.241	933,776,846.31	88/4.296	54/5.171 89/1.404
9	2,558.154	135.055	7,004,765.024	976,372,668.87	6/6.158	41/1.843 114/6.793 69/5.576
10	2,478.911	115.094	2,808,597.956	928,637,442.47	18/2.152	43/4.319 35/2.250

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกรณีที่ N_DG=1

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
1	6.537	0.304	1152000.781	1703185.18	11/1.106	2/2.082
2	6.536	0.301	1824291.266	1032604.53	17/1.054	21/5.209
3	6.536	0.311	1545289.525	1303694.19	4/1.367	14/3.112
4	6.537	0.298	1225965.365	1634662.16	23/1.004	1/2.688

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบอัลกอริทึมของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกรณี N_DG=1 (ต่อ)

รอบการ คำนวณ	กำลังไฟฟ้าใน ระบบ (MW)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (MW)	ต้นทุน (\$)	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	PV บัส/ขนาด (MW)	Wind บัส/ขนาด (MW)
5	6.534	0.299	1623211.722	1234533.73	18/2.059	2/1.557
6	6.537	0.297	1537819.916	1324397.21	17/1.027	7/4.012
7	6.537	0.297	922007.441	1939622.81	19/1.014	16/1.313
8	6.537	0.296	1665459.483	1197010.82	13/1.008	16/4.632
9	6.535	0.303	1606621.433	1248351.64	17/1.313	10/3.533
10	6.536	0.298	1951949.285	908177.88	21/1.012	14/5.894

ภาคผนวก ค

งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่



**Asia-Oceania Regional Council of CIGRE
(AORC-CIGRE)**

AORC Technical Meeting 2011

"Renewable Energy Development, Integration Issues and Solutions"



October 26 – 28, 2011

Le Meridien Hotel, Chiang Mai, Thailand

Final Call for Papers and Meeting Program



Hosted by:

**Thailand National Committee of CIGRE (TNC-CIGRE)
Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)**



Organized by:

AORC-CIGRE, TNC-CIGRE and EGAT

Optimal choice and allocation of distributed generations using evolutionary programming

Rungmanee Jomthong, Peerapol Jirapong and Suppakarn Chansareewittaya
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, 50200, THAILAND

SUMMARY

In this paper, evolutionary programming (EP) is proposed to determine the optimal choice and allocation of multi-type distributed generations (DG) to enhance power transfer capability and minimize system power losses in power system. The optimal allocation includes the optimal type, size, and location. Two types of DG including photovoltaic (PV) and wind turbine (WT) are used in this study. The objective function is formulated as maximizing the benefit to cost ratio. The benefit means increasing in the ability to support the load with deducting system losses which is defined as system loadability. The total costs are the investment and operating costs of the selected DG units. Power transfer capability determinations are calculated based on the optimal power flow (OPF) technique. Test results on the modified IEEE 30-bus system show that the proposed EP can determine the optimal choice and allocation of DG units to achieve system loadability enhancement with the highest benefit to cost ratio of the existing power system.

KEYWORDS

Distributed generations, evolutionary programming, optimal power flow, and optimal allocation.

INTRODUCTION

Distributed generation (DG) is an electric power generation unit connected directly to distribution networks or on the customer site [1]. The technologies adopted in DG comprise small gas turbines, micro-turbines, fuel cells, wind, and solar energy, etc [2]. In power systems, DG can provide benefits for the consumers as well as for the utilities, especially in sites where central generations are impracticable or where there are deficiencies in the transmission systems [3]. The optimal allocated DG units can be used to enhance power transfer capability, reduce power system losses, improve voltage profile, increase system reliability, and reduce pollution [4].

Even though DG units have many benefits when they are placed in power systems, the installation of DG units at non-optimal places can result in an increase in system losses, implying in an increase in costs and, therefore, having an effect opposite to the desire [5]-[6]. Therefore, the problem of selection of the best places for installation and the preferable size of the DG units in large power systems is of great importance. However, the optimal choice and allocation of DG is a complex combinatorial optimization problems which conventional optimization methods cannot effectively be used to solve these problems.

At present, evolutionary programming (EP) has been suggested to overcome the above-mentioned difficulties of conventional methods [7]-[9]. In this paper, EP is used to simultaneously determine the optimal type, size, and location of multi-type DG units to enhance system loadability with deducting system losses. Photovoltaic (PV) and wind turbine (WT) generation units are used in the study. The objective function is formulated as maximizing the benefit to cost ratio. The modified IEEE 30-bus system is used as the test system.

PROBLEM FORMULATION

Objective Function

The optimal power flow (OPF) based objective function considering benefits and cost of DG installation in (1) is used to evaluate the maximum feasible loadability value that can be increased in power systems. The benefit means increasing in the ability to support load with deducting system losses as shown in (2). The total cost (TC) is the cost function of investment and operating costs of DG, which can be calculated in (3). DGs are represented by the static model used in load flow calculation [10].

$$\text{Maximize } F = \frac{B}{TC} \quad (1)$$

$$B = \left\{ \left[\lambda_{\max} \cdot \left(\sum_{i=1}^{ND_SNK} P_{Di}^{base} \right) \right] - \left(\sum_{i=1}^{ND_SNK} P_{Li, \lambda_{\max}} \right) \right\} \cdot 8,760 \cdot C_e \quad (2)$$

$$TC = \sum_{i=1}^{ND_SNK} \sum_{j \in Tech} IC_j \cdot P_{DG,ij} + \sum_{i=1}^{ND_SNK} \sum_{j \in Tech} OC_j \cdot P_{DG,ij} \cdot a_j \times 8,760 \quad (3)$$

Where F is the objective function, B is benefit from installation of DG units and TC is total cost of DG installation and operating cost. In (2), λ_{\max} is maximum system loadability, which are considered with base case real power load (P_{Di}^{base}) at bus i . $P_{Li, \lambda_{\max}}$ is real power loss at bus i with maximum loadability condition. ND_SNK is number of load bus in sink area. C_e is cost of electricity which is defined as 100 \$/MWh. In (3), IC_j and OC_j are investment cost and operating cost of DG type j . $P_{DG,ij}$ is capacity of the DG type j at bus i . a_j is plant factor of DG unit type j . The technical and economic data of DG technologies are shown in Table 1 [10].

System Constraints

System constraints are composed of power balance constraints, real and reactive power limits of generations, voltage limits, transmission line constraints, and maximum installation capacity of DG. Equality constraints are represented in (4) and (5).

$$P_{G,i} - P_{D,i} - \sum_{j=1}^{N_B} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) = 0 \quad (4)$$

$$Q_{G,i} - Q_{D,i} + \sum_{j=1}^{N_B} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) = 0 \quad (5)$$

Where $P_{G,i}$ and $Q_{G,i}$ are real and reactive power generation at bus i . $P_{D,i}$ and $Q_{D,i}$ are real and reactive power load at bus i . V_i and V_j are voltage magnitudes at bus i and j . Y_{ij} is magnitude of the element ij in bus admittance matrix. θ_{ij} is angle of the element ij in bus admittance matrix. δ_i and δ_j are voltage angles of bus i and j .

Inequality constraints are represented in (6) - (10).

$$P_{G,i}^{\min} \leq P_{G,i} \leq P_{G,i}^{\max} \quad (6)$$

$$Q_{G,i}^{\min} \leq Q_{G,i} \leq Q_{G,i}^{\max} \quad (7)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (8)$$

$$|S_{Li}| \leq S_{Li}^{\max} \quad (9)$$

$$P_{DG,i} \leq P_{DG,i}^{\max} \quad (10)$$

Where $P_{G,i}^{\min}$ and $P_{G,i}^{\max}$ are lower and upper limits of real power generation at bus i . $Q_{G,i}^{\min}$ and $Q_{G,i}^{\max}$ are lower and upper limits of reactive power generation at bus i . V_i^{\min} and V_i^{\max} are lower and upper voltage magnitudes at bus i . S_{Li} is apparent power flow loading and S_{Li}^{\max} is apparent power flow loading limit of line i . $P_{DG,i}$ is injected real power of DG at bus i and $P_{DG,i}^{\max}$ is maximum install capacity of DG unit at bus i .

Table 1 Technical and economic data of DG technologies

Type	IC (\$/MW-year)	OC (\$/MWh)	Commercial size (kW)	Plant Factor (a_j)
Photovoltaic	618,000	0.0	100	25
Wind turbine	206,000	10.9	200, 300	20

EVOLUTIONARY PROGRAMMING

EP is a computational intelligence technique that searches for the optimal solution by evolving a population of candidate solution, starts with random generation of initial individual. Then, the mutation and selection are preceded until the best individual is found. The structure of EP algorithm is shown in Figure 1 [11]. The major steps of the algorithm are explained as follows.

Initialization

The initial population consists of individuals and it is created randomly within a feasible range of each control variable which is calculated by (12).

$$V_k^T = [P_{Gi}, V_{Gi}, \lambda_i, Loc_i, Size_i] \quad (11)$$

$$x_i = x_i^{\min} + \mu(x_i^{\max} - x_i^{\min}) \quad (12)$$

Where P_{Gi} is real power generation at bus i excluding slack bus. V_{Gi} is voltage magnitude of generator at bus i including the slack bus. λ_i is loadability at bus i . Loc_i are type and location of DG which Loc_1 and Loc_2 is bus number of PV and WT, respectively. $Size_i$ is size of DG unit. x_i is i th element of the individual in a population that in the range of lower and upper limits, x_{\max} and x_{\min} . μ is an uniform random number in the interval 0 to 1.

Mutation

Each individual is mutated to generate a new population which is an offspring vector. The new population is generated by the gaussian random variable. The k th parent create k th offspring, result from this step is $2k$ individuals. Each element is computed by (13) and (14).

$$x'_{k,i} = x_{k,i} + N(0, \sigma_{k,i}^2) \quad (13)$$

$$\sigma_{k,i} = (x_i^{\max} - x_i^{\min}) \left(\frac{f_{\max} - f_k}{f_{\max}} + a^g \right) \quad (14)$$

Where $x'_{k,i}$ and $x_{k,i}$ are i th element of the k th offspring and parent individuals. $N(0, \sigma_{k,i}^2)$ is gaussian random number with mean 0 and standard deviation of $\sigma_{k,i}$. x_i^{\min} and x_i^{\max} are lower and upper limits of the i th element of the k th parent individual. f_k is fitness of the k th individual and f_{\max} is the maximum fitness of the parent population. a is a

positive constant number slightly less than 1 and g is iteration counter.

Competition

Each individual in the combined population has to compete with some other individuals to get chance to be transcribed to the next generation. The best k th individuals with maximum fitness values are retained to be parents of the next generation. A weight value is assigned to the individual according to the competition in (15) and (16).

$$w_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{N_i} w_i} \quad (15)$$

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{if } f_k > f_r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

Where w_i is weight value of k th individual in combined population. f_k is fitness value of k th individual in combined population and f_r fitness value of r th opponent randomly selected from the combined population. N_i is a number of competitors.

Termination criterion

The termination criterion is set as the maximum number of generations.

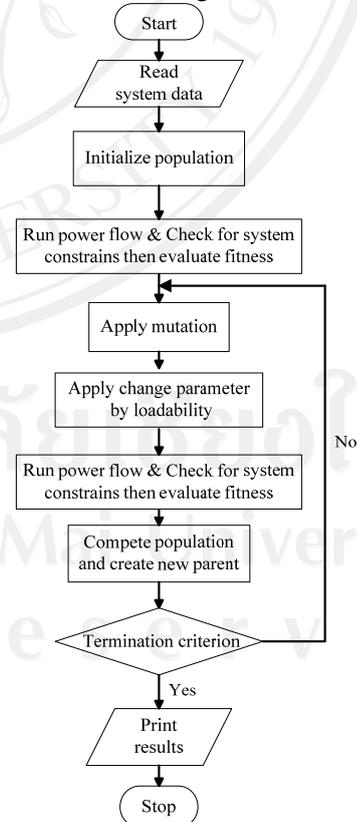


Figure 1 Flowchart of EP-based OPF

CASE STUDY AND SIMULATION RESULTS

The modified IEEE 30-bus system shown in Figure 2 is used to demonstrate the optimal choice and allocation of multi-type DG units using the EP approach. Bus data and line data of the system are taken from [12]. The EP parameters used in the study are shown in Table 2.

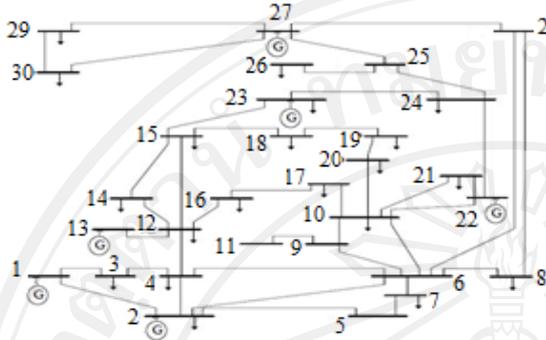


Figure 2. Diagram of the modified IEEE 30-bus system

Table 2
Parameter setting of EP

EP parameter	Value
Population size (<i>popsize</i>)	30
Maximum number of generation (<i>maxgen</i>)	300
Constant value in mutation scale (<i>Const_a</i>)	0.90
Number of tournament (<i>Ntour</i>)	15
Fitness function constant (K_f)	1

Table 3 Test results of all case studies

Case study	P_D^{base}		$\lambda_{max} P_D^{base}$		Objective function value	λ_{max}	Avg. time (min)	PV Bus/Size (MW)	Wind Bus/Size (MW)
	TTC	loss	TTC	loss					
Base PF	164.30	2.42	-	-	-	1.000	-	-	-
Base EP	164.30	2.42	174.75	4.04	-	1.064	1.38	-	-
N_DG=1	164.30	2.42	177.79	4.14	142.40	1.082	0.92	29/1.0	7/2.0
N_DG=2	164.30	2.42	182.04	3.95	39.96	1.108	1.71	26/1.0	15/4.0
N_DG=3	164.30	2.42	182.70	3.90	45.22	1.112	1.87	29/1.0	7/1.0

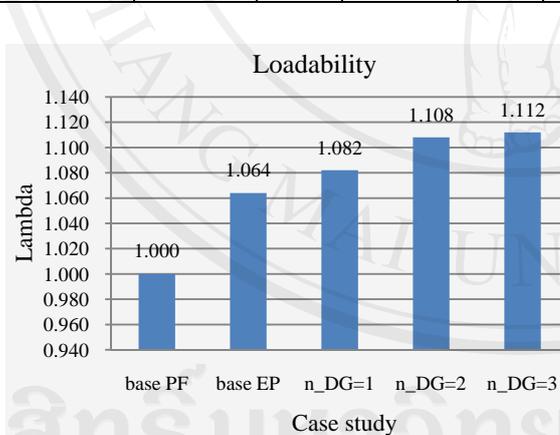


Figure 3. System loadability of all case study

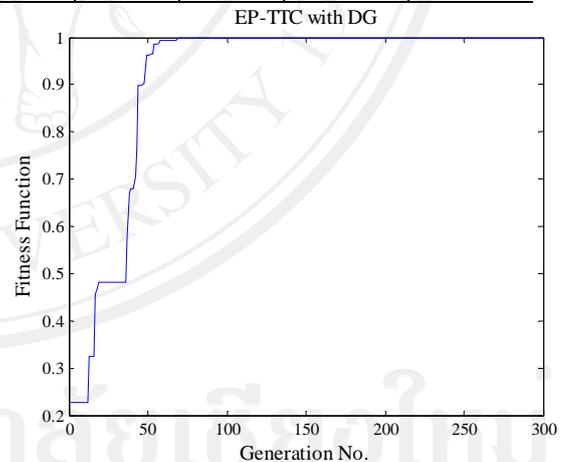


Figure 4. The convergence characteristic of the EP approach

Table 3 shows test results from EP approach which group of case study are without and with DG installation. The power transfer of base case system (Base PF) is 164.30 MW. Without DG installation, the system loadability evaluated by EP (Base EP) can be increased from 1.000 to 1.064 resulting in the additional power transfer 10.45 MW. The maximum power transfer can be improved when DGs are placed in the system. For example, the additional 13.49 MW is increased with the maximum number of each DG type is one component (N_DG=1). The real power generation of PV installation at bus 29 is 1.00 MW and the real power generation of WT installation at bus 7 is 2.00 MW. The power transfer is increased and total loss is reduced, when maximum numbers of DG are two and three components. However, optimal number of each DG installation is one component all case study to obtain the best objective value. Figure 3 shows graph of loadability that comparing

results from base case until total number of each DG type is three components. Figure 4 shows the rapid convergence characteristic of fitness of EP method.

CONCLUSION

In this paper, the proposed EP is implemented to determine the optimal choice and allocation of multi-type DG units to enhance system loadability and reduce power losses in power systems without any violation of system constraints. Test results on the modified IEEE 30-bus system show that the EP approach can simultaneously determine the optimal type, size, and location of photovoltaic and wind turbine DG units to maximize system loadability and minimize power losses with the lowest installation and operating cost of DG. In addition, test results indicate that optimally placed OPF with multi-type DG units by the EP approach could enhance the power transfer value far more than OPF without DG, leading to a higher trading level of energy transactions in a normal secured system.

ACKNOWLEDGEMENT

Authors acknowledge the Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, Thailand for financial support.

BIBLIOGRAPHY

- [1] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Soder, "Distributed generation: a definition" (Electric Power Systems Research, 5 December 2000, pages 195-204)
- [2] J. Paska, "Distributed generation and renewable energy source in Poland" (Electric power quality and utilization, Barcelona, 9-11 October 2007, pages.1-6)
- [3] C.L.T. Borges and D.M. Falcao, "Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement" (International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 23 February 2006, pages 413-420)
- [4] PP. Baker and R.W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1-Radial distribution systems" (Proceeding. IEEE PES Summer Meeting, 2000, pages 1645-1656)
- [5] G. W. Ault and J.R McDonald, "Planning for distributed generation within distribution networks in restructured electricity markets" (IEEE Power Engineering Review, February 2000, pages 52-54)
- [6] R.C. Dugan, T.E. McDermott and G.J. Ball, "Distribution planning for distributed generation" (Rural Electric Power Conference, May 2000, pages C4.1-C4.7)
- [7] T. Back, U. Hammel, and H.P. Schwefel, "Evolutionary computation: comments on the history and current state" (IEEE Transactions on Evolutionary Computation, April 1997, pages 3-17)
- [8] V. Miranda, D. Srinivasan, and L.M. Proenca, "Evolutionary computation in power systems" (International Journal of Electrical Power & Energy Systems, February 1998, pages 89-98)
- [9] S. Chansareewittaya and P. Jirapong, "Power transfer capability enhancement with multitype FACTS controller using particle swarm optimization" (IEEE Region 10 Conference TENCON2010, pages 42-47)
- [10] A. Zangeneh, S. Jadid, and A. Rahimi-Kian, "Promotion strategy of clean technologies in distributed generation expansion planning" (Renewable Energy, December 2009, pages 2765-2773)
- [11] W. Ongsakul and P. Jirapong, "Calculation of total transfer capability by evolutionary programming" (IEEE Region 10 Conference TENCON2004, pages 492-495)
- [12] <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>

Short Bio-data of Main Author



Rungmanee Jomthong received her B.Eng. degree in Electrical Engineering from Naresuan University, Phitsanulok, Thailand, in 2008. She is currently a master student in Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chaing Mai University, Thailand.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล

นางสาวรุ่งมณี จอมทอง

วัน เดือน ปีเกิด

8 มีนาคม 2529

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2551

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปี
งบประมาณ 2552 สำนักงานนโยบายและแผนพลัง กระทรวง
พลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved