ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ตัวอย่างและผล

6.1 คำนำ

ในบทนี้จะแสดงถึงการศึกษาการลดกำลังสูญเสียของระบบไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุดกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยระบบไฟฟ้ากำลังตัวอย่างที่ใช้มี 3 แบบคือ ระบบ 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลง [10] ระบบ 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง และ ระบบ 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง [16] ตามมาตรฐาน IEEE โดยกำหนดขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ ของการแกว่งจุดที่มีกำลังสูญเสียต่ำสุดไม่เกิน 0.01 MW

ตัวอย่างที่ 1 จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 1 ชุด

ตัวอย่างที่ 2 จะแสดงถึงความแตกต่างของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 1 ชุด เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกัน ของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส

ตัวอย่างที่ 3 จะแสดงถึงความแตกต่างของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 2 ชุด เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกัน ของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส

ตัวอย่างที่ 4 จะแสดงถึงความแตกต่างของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด ในกรณีที่มีจำนวนการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟไม่เท่ากัน ของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส

ตัวอย่างที่ 5 จะแสดงถึงผลการปรับแทปที่มีต่อเงื่อนไขบังคับ(Constraint)ของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจำนวน 2 ชุด

ตัวอย่างที่ 6 จะแสดงถึงผลของการปรับขนาดแรงดันของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิงที่มีต่อการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจำนวน 2 ชุด

ตัวอย่างที่ 7 จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุด ของระบบไฟฟ้า

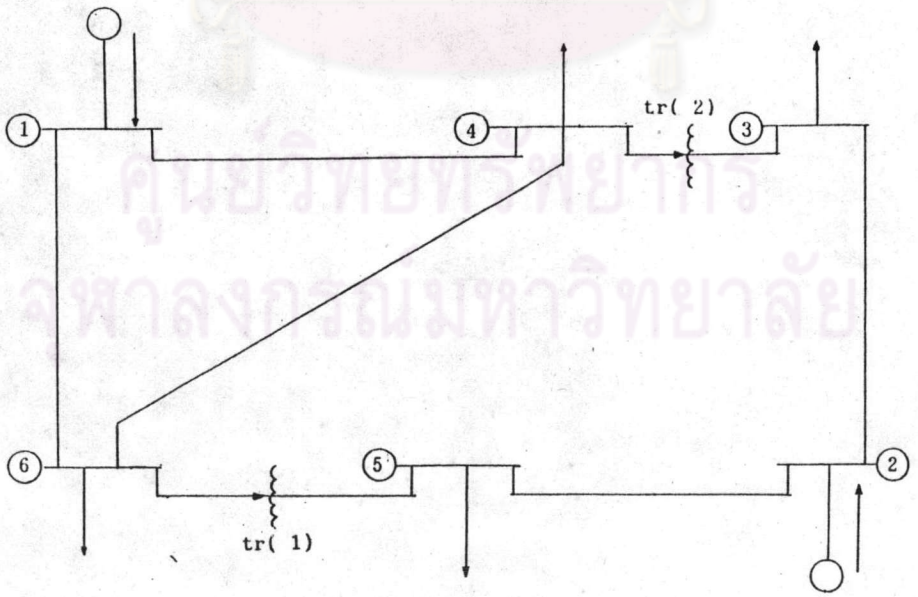
กำลัง 14 บัส โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 4 ชุด

ตัวอย่างที่ 8 จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุด ของระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 6 ชุด

เนื่องจากในทางปฏิบัติมักไม่นิยมติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีราคาแพง ในการศึกษาจึงกำหนดขีดจำกัดของการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟไว้ไม่เกิน 10 MVARSต่อ 1 ชุด ซึ่งการศึกษาในตัวอย่างที่ 7 และตัวอย่างที่ 8 ใช้ขีดจำกัดอันนี้ในการคำนวณ สำหรับการศึกษาในตัวอย่างที่ 1 จะแสดงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียของระบบอย่างละเอียด โดยจะใช้ขีดจำกัดการจ่ายอุปกรณ์รีแอกทีฟถึง 30 MVARS ส่วนการศึกษาในตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งเป็นการศึกษาการเปรียบเทียบกัน จะกำหนดขีดจำกัดของการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ ไม่เกิน 5 MVARS ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและให้ผลของการศึกษาคล้ายกัน

6.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลงตามมาตรฐาน IEEE [10]

ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลง แสดงในรูปที่ 6.2.1



รูปที่ 6.2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลง

6.2.1 ข้อมูลต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลง

```
***input data of power system***

number of bus =    6
number of line =    5
number of transformer =    2
number of var.source bus =    1
number of shunt susceptance =    0
base mva =  100.00
max error = .000100
accelerating factor =   1.000
max iteration acceptacle =  25
max optimize acceptacle =   35
```

*** bus data ***

bus no.	bus type	volt (pu)	deg	volt base (kv)	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.05000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
2	2	1.10000	.00	230.00	50.00	.00	.00	.00
3	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	55.00	13.00
4	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
5	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	30.00	18.00
6	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	50.00	5.00

```
type=1----load bus
type=2----voltage controlled bus
type=3----swing bus
```

*** line data ***

line no.	send bus (p)	end bus (q)	impedance r	impedance x	line charging (pu)	
1	1	6	.1230	.5180	.00	.0000
2	1	4	.0800	.3700	.00	.0000
3	4	6	.0970	.4070	.00	.0000
4	5	2	.2820	.6400	.00	.0000
5	2	3	.7230	1.0500	.00	.0000

*** transformer data ***

transf. no.	from bus	to bus	impedance r	impedance x	ratio	trans. tap max	trans. tap min
1	6	5	.0000	.3000	.9756	1.1000	.9000
2	4	3	.0000	.1330	.9091	1.1000	.9000

*** limit of bus voltage and gen.reactive ***

bus no.	q-gen (MVAR) max	q-gen (MVAR) min	voltage max	voltage min
1	100.00	-20.00	1.10	1.00
2	100.00	-20.00	1.15	1.10
3	.00	.00	1.00	.90
4	.00	.00	1.00	.90
5	.00	.00	1.00	.90
6	.00	.00	1.00	.90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.2 การศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐาน (Base Case) ของข้อมูลระบบ 6 บัส

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.050	241.50	.00	96.61	38.10	.00	.00
2	2	1.100	253.00	-6.14	50.00	34.80	.00	.00
3	1	.855	196.71	-13.83	.00	.00	55.00	13.00
4	1	.953	219.09	-9.92	.00	.00	.00	.00
5	1	.901	207.22	-13.42	.00	.00	30.00	18.00
6	1	.933	214.63	-12.65	.00	.00	50.00	5.00

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	6	45.56	17.45	-42.91	-6.27	2.66	11.19	.00
2	1	4	51.04	20.65	-48.84	-10.48	2.20	10.18	.00
3	4	6	10.91	2.19	-10.78	-1.63	.13	.56	.00
4	5	2	-26.31	-15.18	29.52	22.46	3.21	7.28	.00
5	2	3	20.48	12.34	-17.07	-7.38	3.42	4.96	.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	6	5	3.69	2.90	-3.69	-2.82	.00	.08
2	4	3	37.93	8.29	-37.93	-5.62	.00	2.67

*** system total ***

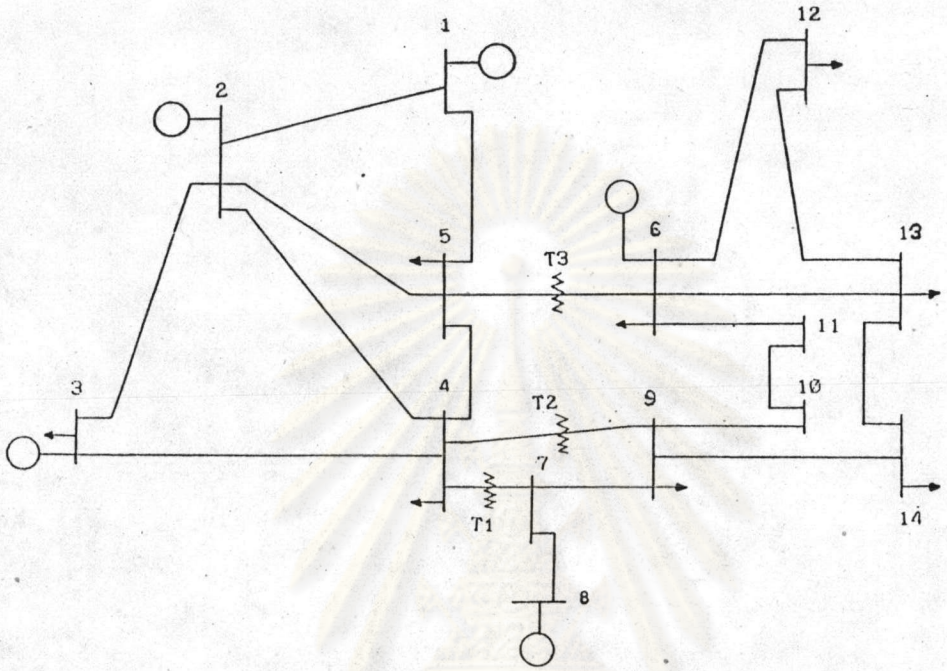
	MW	MVAR
generation	146.61	72.90
load	135.00	36.00
line charging	.00	.00
static capacitor	.00	.00
loss	11.6114	36.9076
mismatch	.0029	.0047

ข้อสังเกต

จากการศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐานระบบ 6 บัส 5 สายส่ง 2 หม้อแปลงจะเห็นว่าลักษณะ performance ของระบบยังไม่ได้อยู่ในเงื่อนไขบังคับ (constraint) ของระบบเนื่องจากขนาดแรงดันของบัสที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.855 p.u. ซึ่งอยู่นอกขีดจำกัดของเงื่อนไขบังคับของระบบ (0.9-1.0 p.u.) ระบบจึงต้องการการจัดสรรกำลังรีแอกทีฟอย่างเหมาะสมเพื่อให้ลักษณะ performance ของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (อยู่ในขีดจำกัด) และต้องการการลดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น (11.6114 MW) ให้น้อยลงด้วย

6.3 ระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง ตามมาตรฐาน IEEE[16]

ระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง แสดงในรูปที่ 6.3.1



รูปที่ 6.3.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง

6.3.1 ข้อมูลต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง

```
***input data of power system***

number of bus =   14
number of line =   17
number of transformer =    3
number of var.source bus =    4
number of shunt susceptance =    0
base mva =  100.00
max error = .000100
accelerating factor =   1.000
max iteration acceptacle =  25
max optimize acceptacle =   35
```

*** bus data ***

bus no.	bus type	volt (pu)	deg	volt base (kv)	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.06000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
2	2	1.04500	.00	230.00	40.00	.00	21.70	12.70
3	2	1.01000	.00	230.00	.00	.00	94.20	19.00
4	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	47.80	3.90
5	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	7.60	1.60
6	2	1.07000	.00	230.00	.00	.00	11.20	7.50
7	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
8	2	1.09000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
9	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	29.50	16.60
10	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	9.00	5.80
11	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	3.50	1.80
12	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	6.10	1.60
13	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	13.50	5.80
14	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	14.90	5.00

type=1----load bus
type=2----voltage controlled bus
type=3----swing bus

*** var source data ***

The number of var source is 4

*** limit of bus voltage and gen.reactive ***

bus no.	q-gen (MVAR) max	q-gen (MVAR) min	voltage max	voltage min
1	100.00	-30.00	1.10	1.00
2	50.00	-40.00	1.10	1.00
3	40.00	.00	1.10	1.00
4	.00	.00	1.05	1.00
5	.00	.00	1.05	1.00
6	24.00	-6.00	1.10	1.00
7	.00	.00	1.05	1.00
8	24.00	-6.00	1.10	1.00
9	.00	.00	1.05	1.00
10	.00	.00	1.05	1.00
11	.00	.00	1.05	1.00
12	.00	.00	1.05	1.00
13	.00	.00	1.05	1.00
14	.00	.00	1.05	1.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** line data ***

line no.	send bus (p)	end bus (q)	impedance r	impedance x	line charging (pu)	
1	1	2	.0194	.0592	.00	.0528
2	2	3	.0470	.1980	.00	.0438
3	2	4	.0581	.1763	.00	.0374
4	1	5	.0540	.2230	.00	.0492
5	2	5	.0569	.1739	.00	.0340
6	3	4	.0670	.1710	.00	.0346
7	4	5	.0133	.0421	.00	.0128
8	7	8	.0000	.1761	.00	.0000
9	7	9	.0000	.1100	.00	.0000
10	9	10	.0318	.0845	.00	.0000
11	6	11	.0950	.1989	.00	.0000
12	6	12	.1229	.2558	.00	.0000
13	6	13	.0662	.1303	.00	.0000
14	9	14	.1271	.2704	.00	.0000
15	10	11	.0821	.1921	.00	.0000
16	12	13	.2209	.1999	.00	.0000
17	13	14	.1709	.3480	.00	.0000

*** transformer data ***

transf. no.	from bus	to bus	impedance r	impedance x	ratio	trans. tap max	trans. tap min
1	4	7	.0000	.2091	.9780	1.0500	.9500
2	4	9	.0000	.5562	.9690	1.0500	.9500
3	5	6	.0000	.2520	.9320	1.0500	.9500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.2 การศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐาน (Base Case) ของระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส 17 สายส่ง 3 หม้อแปลง

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.060	243.80	.00	232.76	-28.06	.00	.00
2	2	1.045	240.35	-4.94	40.00	18.47	21.70	12.70
3	2	1.010	232.30	-12.56	.00	13.95	94.20	19.00
4	1	1.034	237.92	-10.44	.00	.00	47.80	3.90
5	1	1.045	240.29	-9.10	.00	.00	7.60	1.60
6	2	1.070	246.10	-15.36	.00	77.17	11.20	7.50
7	1	1.038	238.69	-13.63	.00	.00	.00	.00
8	2	1.090	250.70	-13.63	.00	32.31	.00	.00
9	1	1.020	234.64	-15.30	.00	.00	29.50	16.60
10	1	1.021	234.92	-15.59	.00	.00	9.00	5.80
11	1	1.042	239.62	-15.58	.00	.00	3.50	1.80
12	1	1.052	242.06	-16.18	.00	.00	6.10	1.60
13	1	1.045	240.39	-16.18	.00	.00	13.50	5.80
14	1	1.013	232.91	-16.72	.00	.00	14.90	5.00

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	155.52	-20.08	-151.30	27.13	4.22	7.04	5.85
2	2	3	72.15	3.67	-69.90	1.21	2.26	2.46	4.63
3	2	4	55.77	-11.34	-54.07	12.46	1.70	1.12	4.04
4	1	5	77.24	-7.97	-74.36	14.42	2.88	6.45	5.45
5	2	5	41.67	-13.69	-40.69	12.97	.98	.72	3.71
6	3	4	-24.30	-6.26	24.71	3.67	.40	2.59	3.62
7	4	5	-61.91	-5.62	62.39	5.76	.48	.13	1.38
8	7	8	.00	-30.76	.00	32.31	.00	1.55	.00
9	7	9	27.93	17.03	-27.93	-15.93	.00	1.09	.00
10	9	10	5.04	-3.34	-5.03	3.37	.01	.03	.00
11	6	11	7.71	11.49	-7.55	-11.15	.16	.33	.00
12	6	12	8.06	3.52	-7.98	-3.35	.08	.17	.00
13	6	13	18.09	11.31	-17.83	-10.79	.26	.52	.00
14	9	14	8.94	-1.25	-8.84	1.46	.10	.21	.00
15	10	11	-3.97	-9.17	4.05	9.35	.08	.18	.00
16	12	13	1.88	1.75	-1.87	-1.74	.01	.01	.00
17	13	14	6.19	6.73	-6.06	-6.46	.13	.27	.00

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	4	7	27.93	-11.85	-27.93	13.73	.00	1.88
2	4	9	15.55	-2.55	-15.55	3.92	.00	1.37
3	5	6	45.06	-34.75	-45.06	43.35	.00	8.61

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	272.76	113.84
load	259.00	81.30
line charging	.00	28.68
static capacitor	.00	.00
loss	13.7605	36.7456
mismatch	.0000	24.4685

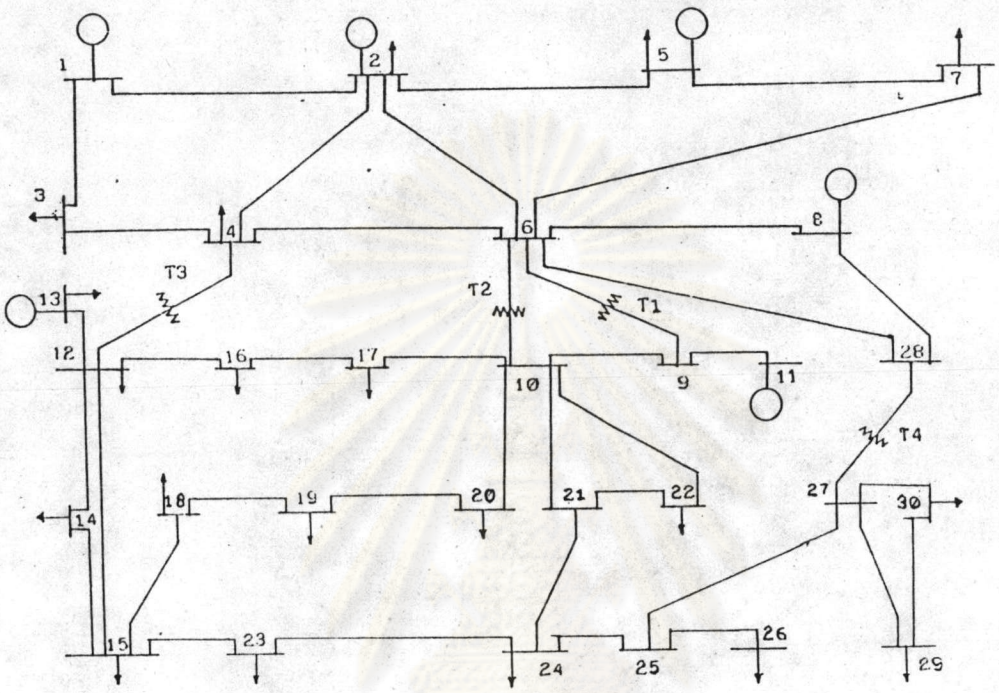
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อสังเกต

จากการศึกษา พบว่า ขนาดแรงดันของโหลดบัสที่ 12 มีค่าเท่ากับ 1.052 p.u. ซึ่งมีค่าเกินขีดจำกัด (1.0 -1.5 p.u.) และมีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัสที่ 6 ถึง 77.17 MVARS ซึ่งมีค่าเกินขีดจำกัดเช่นกัน (- 6 ถึง 24 MVARS)ดังนั้นระบบ 14 บัส จึงต้องการการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้น (13.76 MW.)

6.4 ระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง ตามมาตรฐาน IEEE[16]

ระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง แสดงในรูปที่ 6.4.1



รูปที่ 6.4.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง

6.4.1 ข้อมูลต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง

```
***input data of power system***

number of bus =    30
number of line =    37
number of transformer =     4
number of var.source bus =     6
number of shunt susceptance =     0
base mva =  100.00
max error = .000100
accelerating factor =    1.000
max iteration acceptacle =  25
max optimize acceptacle =   35
```

*** bus data ***

bus no.	bus type	volt (pu)	deg	volt base (kv)	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.05000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
2	2	1.03380	.00	230.00	57.56	.00	21.70	12.70
3	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	2.40	1.20
4	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	7.60	1.60
5	2	1.00580	.00	230.00	24.56	.00	94.20	19.00
6	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
7	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	22.80	10.90
8	2	1.02300	.00	230.00	35.00	.00	30.00	30.00
9	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
10	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	5.80	2.00
11	2	1.09130	.00	230.00	17.93	.00	.00	.00
12	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	11.20	7.50
13	2	1.08830	.00	230.00	16.91	.00	.00	.00
14	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	6.20	1.60
15	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	8.20	2.50
16	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	3.50	1.80
17	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	9.00	5.80
18	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	3.20	.90
19	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	9.50	3.40
20	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	2.20	.70
21	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	17.50	11.20
22	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
23	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	3.20	1.60
24	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	8.70	6.70
25	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
26	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	3.50	2.30
27	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
28	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	.00	.00
29	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	2.40	.90
30	1	1.00000	.00	230.00	.00	.00	10.60	1.90

type=1----load bus
type=2----voltage controlled bus
type=3----swing bus

*** transformer data ***

transf. no.	from bus	to bus	impedance r	impedance x	ratio	trans. tap max	trans. tap min
1	6	9	.0000	.2080	1.0155	1.0500	.9500
2	6	10	.0000	.5560	.9629	1.0500	.9500
3	4	12	.0000	.2560	1.0129	1.0500	.9500
4	28	27	.0000	.3960	.9581	1.0500	.9500

*** var source data ***

The number of var source is 6

*** line data ***

line no.	send bus (p)	end bus (q)	impedance r	impedance x	line charging (pu)	
1	1	2	.0192	.0575	.00	.0528
2	1	3	.0452	.1852	.00	.0408
3	2	4	.0570	.1737	.00	.0368
4	3	4	.0132	.0379	.00	.0082
5	2	5	.0472	.1983	.00	.0418
6	2	6	.0581	.1763	.00	.0374
7	4	6	.0119	.0414	.00	.0090
8	5	7	.0460	.1160	.00	.0204
9	6	7	.0267	.0820	.00	.0170
10	6	8	.0120	.0420	.00	.0090
11	9	11	.0000	.2080	.00	.0000
12	9	10	.0000	.1100	.00	.0000
13	12	13	.0000	.1400	.00	.0000
14	12	14	.1231	.2559	.00	.0000
15	12	15	.0662	.1304	.00	.0000
16	12	16	.0945	.1987	.00	.0000
17	14	15	.2210	.1997	.00	.0000
18	16	17	.0824	.1932	.00	.0000
19	15	18	.1070	.2185	.00	.0000
20	18	19	.0639	.1292	.00	.0000
21	19	20	.0340	.0680	.00	.0000
22	10	20	.0936	.2090	.00	.0000
23	10	17	.0324	.0845	.00	.0000
24	10	21	.0348	.0749	.00	.0000
25	10	22	.0727	.1499	.00	.0000
26	21	22	.0116	.0236	.00	.0000
27	15	23	.1000	.2020	.00	.0000
28	22	24	.1150	.1790	.00	.0000
29	23	24	.1320	.2700	.00	.0000
30	24	25	.1885	.3292	.00	.0000
31	25	26	.2544	.3800	.00	.0000
32	25	27	.1093	.2087	.00	.0000
33	27	29	.2198	.4153	.00	.0000
34	27	30	.3202	.6027	.00	.0000
35	29	30	.2399	.4533	.00	.0000
36	8	28	.0636	.2000	.00	.0428
37	6	28	.0169	.0599	.00	.0130

*** limit of bus voltage and gen.reactive ***

bus no.	q-gen (MVAR) max	q-gen (MVAR) min	voltage max	voltage min
1	100.00	-30.00	1.10	1.00
2	60.00	-20.00	1.10	1.00
3	.00	.00	1.04	1.00
4	.00	.00	1.04	1.00
5	62.50	-15.00	1.10	1.00
6	.00	.00	1.04	1.00
7	.00	.00	1.04	1.00
8	50.00	-15.00	1.10	1.00
9	.00	.00	1.04	1.00
10	.00	.00	1.04	1.00
11	40.00	-10.00	1.10	1.00
12	.00	.00	1.04	1.00
13	45.00	-15.00	1.10	1.00
14	.00	.00	1.04	1.00
15	.00	.00	1.04	1.00
16	.00	.00	1.04	1.00
17	.00	.00	1.04	1.00
18	.00	.00	1.04	1.00
19	.00	.00	1.04	1.00
20	.00	.00	1.04	1.00
21	.00	.00	1.04	1.00
22	.00	.00	1.04	1.00
23	.00	.00	1.04	1.00
24	.00	.00	1.04	1.00
25	.00	.00	1.04	1.00
26	.00	.00	1.04	1.00
27	.00	.00	1.04	1.00
28	.00	.00	1.04	1.00
29	.00	.00	1.04	1.00
30	.00	.00	1.04	1.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4.2 การศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐาน (Base Case) ของข้อมูลระบบ 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.050	241.50	.00	139.01	-1.55	.00	.00
2	2	1.034	237.77	-2.74	57.56	4.51	21.70	12.70
3	1	1.029	236.63	-4.68	.00	.00	2.40	1.20
4	1	1.023	235.36	-5.61	.00	.00	7.60	1.60
5	2	1.006	231.33	-9.00	24.56	22.82	94.20	19.00
6	1	1.020	234.68	-6.45	.00	.00	.00	.00
7	1	1.007	231.53	-8.03	.00	.00	22.80	10.90
8	2	1.023	235.29	-6.46	35.00	34.50	30.00	30.00
9	1	1.036	238.27	-8.11	.00	.00	.00	.00
10	1	1.008	231.78	-10.09	.00	.00	5.80	2.00
11	2	1.091	251.00	-6.22	17.93	29.33	.00	.00
12	1	1.042	239.67	-9.66	.00	.00	11.20	7.50
13	2	1.088	250.31	-8.46	16.91	36.14	.00	.00
14	1	1.023	235.33	-10.57	.00	.00	6.20	1.60
15	1	1.015	233.42	-10.58	.00	.00	8.20	2.50
16	1	1.020	234.65	-10.11	.00	.00	3.50	1.80
17	1	1.006	231.38	-10.31	.00	.00	9.00	5.80
18	1	1.000	229.97	-11.14	.00	.00	3.20	.90
19	1	.994	228.66	-11.27	.00	.00	9.50	3.40
20	1	.997	229.26	-11.04	.00	.00	2.20	.70
21	1	.994	228.54	-10.58	.00	.00	17.50	11.20
22	1	.994	228.58	-10.57	.00	.00	.00	.00
23	1	.995	228.78	-10.91	.00	.00	3.20	1.60
24	1	.976	224.59	-10.99	.00	.00	8.70	6.70
25	1	.963	221.42	-10.91	.00	.00	.00	.00
26	1	.944	217.11	-11.38	.00	.00	3.50	2.30
27	1	.963	221.55	-10.57	.00	.00	.00	.00
28	1	1.019	234.27	-6.84	.00	.00	.00	.00
29	1	.942	216.67	-11.97	.00	.00	2.40	.90
30	1	.930	213.85	-12.97	.00	.00	10.60	1.90

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	6	9	14.89	.31	-14.89	.12	.00	.19
2	6	10	11.29	-4.10	-11.29	4.93	.00	.83
3	4	12	29.79	-1.18	-29.79	3.29	.00	2.12
4	28	27	15.46	3.61	-15.46	-2.57	.00	1.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	90.85	-1.50	-89.41	.07	1.44	1.43	5.73
2	1	3	48.16	-.05	-47.21	-.45	.95	.40	4.41
3	2	4	29.56	-4.67	-29.09	2.21	.47	2.46	3.89
4	3	4	44.81	-.75	-44.56	.60	.25	.14	.86
5	2	5	58.09	1.66	-56.59	.28	1.50	1.38	4.35
6	2	6	37.62	-5.25	-36.85	3.66	.78	1.59	3.95
7	4	6	36.27	-3.24	-36.12	2.82	.15	.42	.94
8	5	7	-13.05	3.54	13.14	-5.39	.09	1.85	2.07
9	6	7	36.28	4.83	-35.94	-5.51	.35	.68	1.75
10	6	8	-1.22	-6.59	1.23	5.66	.00	.92	.94
11	9	11	-17.93	-27.27	17.93	29.33	.00	2.06	.00
12	9	10	32.82	27.15	-32.82	-25.29	.00	1.86	.00
13	12	13	-16.91	-34.26	16.91	36.14	.00	1.88	.00
14	12	14	8.43	3.68	-8.34	-3.48	.10	.20	.00
15	12	15	19.18	12.08	-18.86	-11.46	.31	.62	.00
16	12	16	7.89	7.70	-7.78	-7.48	.11	.22	.00
17	14	15	2.14	1.88	-2.12	-1.87	.02	.02	.00
18	16	17	4.28	5.68	-4.24	-5.59	.04	.09	.00
19	15	18	6.43	3.84	-6.37	-3.72	.06	.12	.00
20	18	19	3.17	2.82	-3.16	-2.80	.01	.02	.00
21	19	20	-6.34	-.60	6.35	.63	.01	.03	.00
22	10	20	8.62	1.49	-8.55	-1.33	.07	.16	.00
23	10	17	4.77	.23	-4.76	-.21	.01	.02	.00
24	10	21	16.70	11.24	-16.57	-10.94	.14	.30	.00
25	10	22	8.22	5.39	-8.15	-5.25	.07	.14	.00
26	21	22	-.93	-.26	.93	.26	.00	.00	.00
27	15	23	6.35	6.99	-6.26	-6.82	.09	.17	.00
28	22	24	7.22	4.99	-7.13	-4.85	.09	.14	.00
29	23	24	3.06	5.22	-3.01	-5.12	.05	.10	.00
30	24	25	1.44	3.27	-1.42	-3.23	.03	.04	.00
31	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	.05	.07	.00
32	25	27	-2.13	.85	2.14	-.84	.01	.01	.00
33	27	29	6.21	1.70	-6.11	-1.52	.10	.19	.00
34	27	30	7.11	1.70	-6.93	-1.36	.18	.35	.00
35	29	30	3.71	.62	-3.67	-.54	.04	.07	.00
36	8	28	3.77	-1.16	-3.76	-3.27	.01	2.11	4.46
37	6	28	11.72	-.93	-11.69	-.34	.02	.58	1.35

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	290.97	125.76
load	283.40	126.20
line charging	.00	34.69
static capacitor	.00	.00
loss	7.5723	27.0547
mismatch	.0011	7.1983

ข้อสังเกต

จากการศึกษาพบว่าขนาดของแรงดันของโหลดบัสที่ 19,20,21,22,23,24,25,26, 27,29 และ 30 มีค่าเท่ากับ 0.994,0.997,0.994,0.994,0.994,0.995,0.976,0.963, 0.944,0.963,0.942 และ 0.930 p.u. ตามลำดับมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของระบบ (1.0 - 1.04 p.u.) เพราะฉะนั้นระบบจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกำลังรีแอกทีฟอย่างเหมาะสม และลดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น (7.57 MW)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5 ผลและการวิเคราะห์

จากการศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐาน (Base Case) ของทั้ง 3 ระบบ ในหัวข้อที่ 6.2 , 6.3 และ 6.4 นั้น จะเห็นได้ว่าระบบทั้ง 3 ต้องการการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นให้น้อยลง ผลของการศึกษาทั้ง 9 ตัวอย่าง จะได้นำมาแสดงในหัวข้อนี้ พร้อมทั้งการวิเคราะห์ เนื่องจากผลที่ได้จากการศึกษามีมาก จึงขอแสดงผลอย่างสรุปเพื่อความกะทัดรัดง่ายต่อความเข้าใจ ส่วนรายละเอียดที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดนั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. ท้ายเล่ม

6.5.1 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 1

การศึกษาในตัวอย่างที่ 1 นี้จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัสโดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 1 ชุด เข้าไปในโหลดบัสที่เหมาะสม

จากการศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐานพบว่า ขนาดแรงดันโหลดบัสที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.855 p.u. ซึ่งมีค่าไม่ได้อยู่ในขีดจำกัด (0.9 - 1.0 p.u.) ระบบจึงจำเป็นต้องทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยที่สุด จากการพิจารณาเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟของข้อมูลระบบ 6 บัส โดยอาศัยค่าดัชนี (index) ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 ปรากฏว่า

$$[\text{S. index}] = [5,6,3,4] \qquad (6.5.1.1)$$

$$[\text{V. index}] = [6,4,3,5]$$

$$[\text{L. index}] = [5,3,6,4]$$

และ $$[\text{T. index}] = [5,6,3,4]$$

โดยมีค่า weight factor vector ดังนี้

$$[\text{W.T.}] = [9,9,7,5]$$

จากการพิจารณาเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ จาก ค่าของ [T.index] และ [W.T] จึงเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟเข้าไปในโหลดบัสที่ 5 เนื่องจากมีค่า total weight factor มากที่สุดเท่ากับ 9

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความไวของกำลังสูญเสีย (Loss sensitivity)ของตัวแปร

ควบคุมของระบบซึ่งประกอบด้วยการปรับแทปของหม้อแปลง (หม้อแปลงหมายเลข 1 และ 2) การปรับขนาดแรงดันของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง (บัสที่ 2 และ 1) และการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่ต่ออยู่กับโหลดบัสที่เหมาะสม(บัสที่ 5) จะมีค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

loss sensitivity by tap

tran no	from e	to f	d(ploss)/tap
1	6	5	-.0458022200
2	4	3	-.1152885000

loss sensitivity by volt

i	d(ploss)/volt
2	.0287252700
1	-.3073066000

loss sensitivity by var

no	at	d(ploss)/var
1	5	-.1057728000

จากการทำปัญหาการออปติไมซ์การลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 เราจะได้คำตอบของการทำออปติไมซ์ ดังต่อไปนี้

6.5.1.1 ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่ต่อกับโหลดบัสที่ 5 มีค่าระหว่าง 0 - 5 MVARS

จากการทำออปติไมซ์ ผลปรากฏว่ากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 9.025 MW โดยใช้การคำนวณ 11 อิทเทอเรชั่น โดยมีรายละเอียดของการคำนวณดังนี้

The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus 2 1.150p.u.
Generator voltage at bus 1 1.100p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus 5 .050p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no. 1 1.029p.u.
Transformer no. 2 1.021p.u.

The Iteration details:

Iter. No.	power loss (MW)
1	10.776
2	10.282
3	9.858
4	9.494
5	9.392
6	9.293
7	9.197
8	9.113
9	9.068
10	9.032
11	9.025

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	kv	deg	generation MW	MVAR	load MW	MVAR
1	3	1.100	253.00	.00	94.02	41.90	.00	.00
2	2	1.150	264.50	-3.35	50.00	19.50	.00	.00
3	1	1.000	230.00	-11.58	.00	.00	55.00	13.00
4	1	.995	228.93	-8.71	.00	.00	.00	.00
5	1	1.000	230.00	-11.21	.00	.00	30.00	13.00
6	1	.983	226.12	-10.98	.00	.00	50.00	5.00

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	6	44.07	18.17	-41.76	-8.44	2.31	9.73	.00
2	1	4	49.95	23.73	-47.93	-14.37	2.02	9.35	.00
3	4	6	9.71	.86	-9.62	-.47	.09	.39	.00
4	5	2	-28.62	-9.14	31.16	14.91	2.54	5.78	.00
5	2	3	18.84	4.59	-16.78	-1.60	2.05	2.98	.00

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	6	5	1.38	3.91	-1.38	-3.86	.00	.05
2	4	3	38.22	13.51	-38.22	-11.40	.00	2.12

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	144.02	61.40
load	135.00	31.00
line charging	.00	.00
static capacitor	.00	.00
loss	9.0251	30.3969
mismatch	.0003	.0002

ข้อสังเกต

จะเห็นได้ว่าขนาดของแรงดันของโหลดบัสทั้ง 4 บัส (บัสที่ 3,4,5 และ 6) มีค่าเท่ากับ 1.0 , .995 , 1.0 และ .983 p.u. ตามลำดับซึ่งอยู่ในขีดจำกัดของระบบแล้ว (0.9 - 1.0 p.u.) และกำลังสูญเสียของระบบจะมีค่าลดลงมาจาก 11.61 MW เหลือเพียง 9.025 MW นั่นแสดงว่าการทำปัญหาการลดกำลังงานสูญเสียให้น้อยที่สุด ด้วยการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบอย่างเหมาะสม จะช่วยลักษณะ performance ของระบบให้ดีขึ้น (อยู่ในขีดจำกัด) และลดกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นให้มีค่าน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5.1.2 ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังที่ต่อกับโหลดบัสที่ 5 มีค่าระหว่าง 0 - 30 MVARS

จากการทำปัญหาออปติไมซ์การลดกำลังงานสูญเสียให้น้อยที่สุด โดยใช้ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟแตกต่างกัน คือมีขีดจำกัดสูงสุดเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 MVARS ตามลำดับ โดยการทำวิธีเดียวกับหัวข้อที่ 6.5.1.1 สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 6.5.1.1 แสดงถึงค่าของกำลังงานสูญเสียของระบบ 6 บัส โดยมีขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่ต่อกับโหลดบัสที่ 5 แตกต่างกัน

ขนาดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ(MVARS)	กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น (MW)
5	9.025
10	8.816
15	8.723
20	8.674
25	8.674
30	8.674

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.5.1.2 แสดงถึงการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่ต่อกับโหลดบัสที่ 5 โดยมีขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟแตกต่างกัน

ขนาดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ (MVARS)	การจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ (MVARS)
5	5
10	10
15	15
20	16
25	16
30	16

6.5.1.3 วิเคราะห์ผลตัวอย่างที่ 1

จากการศึกษาในตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟมีผลต่อการลดกำลังสูญเสีย โดยถ้าอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟมีขนาดใหญ่ขึ้น กำลังสูญเสียของระบบจะมีค่าน้อยลง แต่การจ่ายกำลังของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง ไม่ว่าจะเพิ่มขนาดใหญ่มากขึ้นก็ตาม ในตัวอย่างนี้ก็คือ 16 MVARS ซึ่งไม่ว่าจะใช้อุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาด 20,25 และ30 MVARSก็ตาม จะมีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของอุปกรณ์เท่ากันคือ 16 MVARS และลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดได้เท่ากันคือ 8.674 MW ดังนั้นการพิจารณาการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ จะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนขนาดอุปกรณ์ว่าคุ้มกับเงินลงทุนในการติดตั้งหรือไม่ เพราะการจ่ายกำลังรีแอกทีฟควบคุมระบบ มีค่าจำกัดและมีเปอร์เซนต์ของการลดกำลังสูญเสียใกล้เคียงกัน กล่าวคือควรจะเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่มีขนาดใหญ่ไม่มากนัก แต่มีประสิทธิภาพในการลดกำลังสูญเสียใกล้เคียงกับอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟที่มีขนาดใหญ่ จากการพิจารณาในตัวอย่างที่ 1 จากตารางข้างล่างนี้ ควรพิจารณาเลือกขนาดไม่เกิน

10 MVARS เนื่องจากมีจำนวนเปอร์เซนต์ที่ลดลงของกำลังสูญเสียใกล้เคียงกับอุปกรณ์ขนาดใหญ่ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์

ตารางที่ 6.5.1.3 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเปอร์เซนต์ที่ลดลงของกำลังงานสูญเสีย กับขนาดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ

ขนาดของอุปกรณ์ผลิต กำลังรีแอกทีฟ(MVARS)	กำลังงานสูญเสีย (MW)	จำนวนเปอร์เซนต์ที่ลดลง (%)
5	9.025	22.27
10	8.816	24.07
15	8.723	24.08
20	8.674	25.30
25	8.674	25.30
30	8.674	25.30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5.2 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 2

การศึกษาในตัวอย่างที่ 2 จะแสดงถึงค่าของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ จำนวน 1 ชุดมีขนาดเท่ากับ 5 MVARS เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกันของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส ดังนี้

ตารางที่ 6.5.2.1 แสดงค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 1 ชุด 5 MVARS เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งบัสที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ	กำลังสูญเสีย (MW)
3	9.0850
4	9.0870
5	9.0251
6	9.0343

6.5.2.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 2

จากการพิจารณาเลือกตำแหน่งโหลดบัสที่เหมาะสมกับการติดอุปกรณ์รีแอกทีฟ ตามค่าดัชนี (T.index) ซึ่งค่าดังนี้

$$[T.index] = [\,5,6,3,4\,] \qquad (6.5.2.1)$$

โดยมีค่าของ weight factor vector เท่ากับ [9,9,7,5]

จะเห็นได้ว่าการพิจารณาเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 นั้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษา กล่าวคือ การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟเข้าไปในโหลดบัสที่มีค่าดัชนี(T.index)สูงกว่าบัสอื่น (ตามลำดับความสำคัญ (priority) ของ weight factor vector) กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบนั้นจะมีค่าน้อยกว่าการติดตั้งอุปกรณ์

เข้าไปในบัสอื่น

ตารางที่ 6.5.2.2 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียตามลำดับความสำคัญของค่าดัชนี

Priority Order in T.index	Bus No.	Total weight Factor	Power Loss (MW)
1	5	9	9.0251
2	6	9	9.0343
3	3	7	9.0850
4	4	5	9.0870

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5.3 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 3

การศึกษาในตัวอย่างที่ 3 จะแสดงถึงความแตกต่างของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุดในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ จำนวน 2 ชุดมีขนาดชุดละ 5 MVARS เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกันของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส ดังนี้ ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 3 มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.5.3.1 แสดงค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 2 ชุด 5 MVARS เข้าไปในโหลดบัสที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งบัสที่ติดตั้ง บัสที่ 1	ตำแหน่งบัสที่ติดตั้ง บัสที่ 2	กำลังงานสูญเสีย (MW)
3	4	9.017
3	5	8.886
3	6	8.895
4	5	8.886
4	6	8.895
5	6	8.819

6.5.3.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 3

จากการศึกษาตัวอย่างที่ 3 จะเห็นได้ว่าการพิจารณาเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจำนวน 2 ชุดเข้าไปในบัสที่มีค่าดัชนี(T. index)สูงกว่าบัสอื่น โดยพิจารณามาจากค่า weight factor vector จะทำให้ค่าของกำลังสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด และสำหรับบัสที่มีค่าของ Total weight factor ใกล้เคียงกัน อาจมีการเรียงลำดับค่าของกำลังสูญเสียของระบบคลาดเคลื่อนไปบ้าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.5.3.2 แสดงการเปรียบเทียบของกำลังสูญเสียของระบบเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจำนวน 2 ชุดตามลำดับความสำคัญของค่าดัชนี

Priority Order in T.index	Total weight Factor	Between Bus No.	And Bus No.	Power Loss (MW)
1	18	5	6	8.819
2	16	3	5	8.886
3	14	4	5	8.886
4	16	3	6	8.895
5	14	4	6	8.895
6	12	3	4	9.017

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5.4 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 4

การศึกษาในตัวอย่างที่ 4 จะแสดงถึงความแตกต่างของกำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด ในกรณีมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ ขนาดชุดละ 5 MVARS จำนวนไม่เท่ากันเข้าไปในโหลดบัสที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส ปรากฏว่ามีผลตอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.5.4.1 แสดงค่าของกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบโดยมีการติดตั้งจำนวนอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟไม่เท่ากัน ขนาดชุดละ 5 MVARS

จำนวนที่ติดตั้งของของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ(ชุด)	ตำแหน่งบัสที่ติดตั้ง	กำลังสูญเสีย (MW)
1	5	9.0251
2	5,6	8.8190
3	3,5,6	8.7470
4	3,4,5,6	8.7060

6.5.4.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 4

จากการศึกษาในตัวอย่างที่ 4 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งจำนวนอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจำนวนมากขึ้นจะมีผลทำให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าลดลง แต่ทั้งนี้การพิจารณาการติดตั้งต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ว่าคุ้มกับเงินลงทุนหรือไม่ด้วย เมื่อพิจารณาจากตารางข้างล่างนี้จะเห็นได้ว่าจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการลดกำลังงานสูญเสียมีค่าใกล้เคียงกัน เราควรเลือกใช้อุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟเป็นจำนวนไม่มากนักแต่ให้ประสิทธิภาพในการลดกำลังงานสูญเสียสูง สำหรับในตัวอย่างที่ 4 นี้ เราควรเลือกติดตั้งจำนวนอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟไม่เกิน 2 ชุด

ตารางที่ 6.5.4.2 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของกำลังสูญเสีย กับจำนวนอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ

จำนวนที่ติดตั้งของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ (ชุด)	กำลังสูญเสีย (MW)	จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของกำลังสูญเสีย (%)
1	9.0251	22.27
2	8.8190	24.05
3	8.7470	24.67
4	8.7060	25.02

6.5.5 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 5

ในตัวอย่างนี้แสดงถึงผลของการปรับแทปของหม้อแปลงซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมตัวหนึ่งของระบบ โดยกำหนดให้ค่าแทปของหม้อแปลงทั้งสองตัวในระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัส มีค่าคงที่เท่ากับ 0.9 และทำการออปติไมซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 3 โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 5 MVARSจำนวน 2 ชุดเข้าไปในโหลดบัสที่ 5 และ 6 ผลการคำนวณ (ข) ปรากฏว่าการออปติไมซ์ไม่สามารถทำให้ระบบอยู่ในเงื่อนไขบังคับของระบบได้ (constraint) โดยมีค่าขนาดแรงดันของโหลดบัสที่ 3 เพียง 0.893 p.u. เท่านั้น (ไม่อยู่ในขีดจำกัด และ ระบบไม่สามารถลดกำลังสูญเสียลงได้ (เท่ากับ 11.8538 MW)) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 3 (ค) ซึ่งระบบมีขอบเขตการปรับแทปของหม้อแปลงเพิ่มขึ้น(ระหว่าง 0.9-1.1) จะทำให้ระบบอยู่ในเงื่อนไขบังคับได้ และมีการลดกำลังสูญเสียเหลือเพียง 8.819 MW

ก. ลักษณะ Performance ของระบบในสมการโหลดโฟลว์พื้นฐาน(Base case)

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	kv	deg	generation MW	MVAR	load MW	MVAR
1	3	1.050	241.50	.00	96.61	38.10	.00	.00
2	2	1.100	253.00	-6.14	50.00	34.80	.00	.00
3	1	.855	196.71	-13.83	.00	.00	55.00	13.00
4	1	.953	219.09	-9.92	.00	.00	.00	.00
5	1	.901	207.22	-13.42	.00	.00	30.00	18.00
6	1	.933	214.63	-12.65	.00	.00	50.00	5.00

	MW	MVAR
loss	11.6114	36.9076

ข.ลักษณะ Performance ของระบบในสมการโหลดโฟลว์ในกรณีที่ระบบไม่สามารถปรับค่าแทปของหม้อแปลงได้(กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.9)

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	kv	deg	generation MW	MVAR	load MW	MVAR
1	3	1.075	247.22	.00	96.85	25.88	.00	.00
2	2	1.150	264.50	-7.31	50.00	46.25	.00	.00
3	1	.893	205.50	-13.14	.00	.00	55.00	13.00
4	1	1.000	230.00	-9.51	.00	.00	.00	.00
5	1	.906	208.34	-12.96	.00	.00	30.00	18.00
6	1	.991	227.83	-12.08	.00	.00	50.00	5.00

	MW	MVAR
loss	11.8539	36.1335

ค.ลักษณะ Performence ของระบบในสมการโหลดโฟลว์ในกรณีที่ระบบสามารถปรับค่าแทปของหม้อแปลงได้(ระหว่าง 0.9 - 1.1)

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	kv	deg	generation MW	MVAR	load MW	MVAR
1	3	1.100	253.00	.00	93.82	38.07	.00	.00
2	2	1.144	263.05	-3.10	50.00	17.63	.00	.00
3	1	1.000	230.00	-11.57	.00	.00	55.00	13.00
4	1	1.000	230.00	-8.70	.00	.00	.00	.00
5	1	1.000	230.00	-11.20	.00	.00	30.00	13.00
6	1	.995	228.89	-10.99	.00	.00	50.00	.00

*** system total ***

	MW	MVAR
loss	8.8189	29.7013

6.5.5.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาตัวอย่างที่ 5

จากการศึกษาในตัวอย่างที่ 5 จะเห็นว่าการปรับแทปของหม้อแปลงซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมของระบบ มีผลต่อการควบคุมเงื่อนไขบังคับของระบบ (constraint) โดยการปรับแทปของหม้อแปลง จะมีผลต่อการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ไหลในหม้อแปลง จากสมการ (ข.13) ในภาคผนวก ข.ซึ่งแสดงถึงค่าของอนุพันธ์ของกำลังรีแอกทีฟที่บัส i เมื่อเทียบกับแทปของหม้อแปลง (t_{ij}) ดังต่อไปนี้

$$\partial Q_i / \partial t_{ij} = 2 V_i^2 b_{ij} t_{ij} + V_i V_j (-b_{ij} \cos \delta_{ij} - g_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad \text{(ข.13)}$$

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแทปของหม้อแปลง จะมีผลมากในเทอมแรกของสมการที่ (ข.13) การควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ไหลในหม้อแปลง จะไปควบคุมขนาดแรงดันที่โหลดบัสของระบบไฟฟ้ากำลังให้มีค่าอยู่ในขีดจำกัด(limit)

6.5.6 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 6

ในตัวอย่างนี้จะแสดงถึงผลของการปรับขนาดแรงดันของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิงที่มีต่อการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ 6 บัส โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 5 MVARS จำนวน 2 ชุด เข้าไปในโหลดบัสที่ 5 และ 6 และกำหนดให้แทปของหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวมีค่าเท่ากับ 0.95 และ มีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของบัสอ้างอิงไม่เกิน 20 MVARS ปรากฏว่า

ก. ลักษณะ Performance ของระบบในสมการโหลดโฟลว์โดยระบบมีขีดจำกัดการปรับแรงดันของบัสที่ 1 อยู่ระหว่าง 1.0 - 1.1 p.u.และบัสที่ 2 อยู่ระหว่าง 1.10 - 1.15 p.u.

```
The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus 2     1.150p.u.
Generator voltage at bus 1     1.034p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus  5      .050p.u.
Switchable Var Source at bus  6      .050p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no.  1      .950p.u.
Transformer no.  2      .950p.u.
```

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.034	237.86	.00	96.23	21.37	.00	.00
2	2	1.150	264.50	-7.51	50.00	39.90	.00	.00
3	1	.907	208.52	-13.76	.00	.00	55.00	13.00
4	1	.963	221.39	-10.25	.00	.00	.00	.00
5	1	.935	215.02	-13.76	.00	.00	30.00	13.00
6	1	.965	221.90	-13.07	.00	.00	50.00	.00

	MW	MVAR
loss	11.2277	30.6974

ข. ลักษณะ Performance ของระบบในสมการโหลดโฟลว์ โดยระบบมีขีดจำกัดการปรับแรงดันของบัสที่ 1 อยู่ระหว่าง 1.10 - 1.15 p.u.และบัสที่ 2 อยู่ระหว่าง 1.10 - 1.175 p.u.

```
The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus  2    1.174p.u.
Generator voltage at bus  1    1.066p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus  5      .050p.u.
Switchable Var Source at bus  6      .050p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no.  1      .950p.u.
Transformer no.  2      .950p.u.
```

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.066	245.09	.00	95.45	20.00	.00	.00
2	2	1.174	270.03	-6.73	50.00	38.70	.00	.00
3	1	.940	216.26	-12.79	.00	.00	55.00	13.00
4	1	.998	229.51	-9.54	.00	.00	.00	.00
5	1	.967	222.41	-12.76	.00	.00	30.00	13.00
6	1	1.000	230.00	-12.16	.00	.00	50.00	.00

	MW	MVAR
loss	10.4517	28.4696

6.5.6.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาตัวอย่างที่ 6

จากการศึกษาในตัวอย่างที่ 6 จะแสดงให้เห็นว่าการปรับขนาดแรงดันของบัสควบคุมแรงดันและบัสอ้างอิง มีผลต่อการควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่ในขีดจำกัด(Limit)ของระบบ จากลักษณะของระบบในข้อ (ก) จะเห็นได้ว่าการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัสอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 21.37 MVARS ซึ่งยังมีค่าเกินขีดจำกัดของระบบ (20 MVARS) อยู่ ต่อมาเมื่อระบบสามารถปรับค่าแรงดันได้เพิ่มขึ้น (ในข้อ (ข)) จะเห็นได้ว่าการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงมีค่าอยู่ในขีดจำกัดได้ (20 MVARS) หรือกล่าวโดยสรุปได้ว่า การปรับขนาดแรงดันของบัสที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมตัวหนึ่งของระบบ จะมีผลเกี่ยวข้องกับการควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบให้มีค่าเหมาะสมและอยู่ในขีดจำกัด และทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าน้อยลง

6.5.7 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 7

การศึกษาในตัวอย่างที่ 7 นี้จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดของระบบไฟฟ้ากำลัง 14 บัส โดยติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ 4 ชุดเข้าไปในโหลดบัสที่เหมาะสม ในตัวอย่างนี้จะแสดงถึงการทำปัญหาการออปติไมซ์กำลังสูญเสียโดยมีเงื่อนไข (constraint) ของระบบเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังอาศัยวิธีการทำออปติไมซ์เหมือนระบบ 6 บัส เช่นเดิม

จากการศึกษาสมการโหลดโฟลว์พื้นฐานในหัวข้อ 6.3 จะเห็นได้ว่า ขนาดแรงดันโหลดบัสที่ 12 มีค่าเท่ากับ 1.052 pu.ซึ่งมีค่าเกินขีดจำกัดของระบบ (1.0 - 1.05 p.u.) และมีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสควบคุมแรงดันหมายเลข 6 ถึง 77.17 MVARS ซึ่งมีค่าเกินขีดจำกัดเช่นกัน(-6 ถึง 24 MVARS) ระบบจึงจำเป็นต้องทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและลดกำลังสูญเสียของระบบ(13.7605) ให้มีค่าน้อยที่สุด จากการพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟของข้อมูลระบบ 14 บัส โดยอาศัยค่าดัชนี (index) ต่าง ๆ ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

[S. index] = [14, 12, 11, 13, 10, 7, 9, 5, 4] (6.5.7.1)

[V. index] = [9, 7, 10, 4, 5, 13, 11, 14 , 12]

[L. index] = [5, 4, 7, 12, 11, 13, 9, 10, 14]

และ [T. index] = [7, 5, 4, 9, 11, 12, 10, 13, 14]

โดยมีค่า wieght factor vector ดังต่อไปนี้

[W.T.] = [19, 16, 15, 15, 15, 15, 14, 14, 12]

จากค่าของ [T.index] และ [W.T.] จึงเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟเข้าไปในโหลดบัสที่ 7,5,4,9 ตามลำดับ เนื่องจากมีค่าของtotal weight factor มากที่สุด

จากการคำนวณปัญหาออปติไมซ์ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว จะได้ผลตอบดังนี้

(ก) ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 5 MVARS

จากการทำออปติไมซ์ผลปรากฏว่ากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด จะมีค่าเท่ากับ 12.5455 MW โดยใช้การคำนวณ 16 อิทเทอร์เรชั่น โดยมีรายละเอียดของการคำนวณดังต่อไปนี้

```
The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus  2    1.081p.u.
Generator voltage at bus  3    1.040p.u.
Generator voltage at bus  6    1.033p.u.
Generator voltage at bus  8    1.089p.u.
Generator voltage at bus  1    1.100p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus  7     .050p.u.
Switchable Var Source at bus  5     .050p.u.
Switchable Var Source at bus  4     .050p.u.
Switchable Var Source at bus  9     .050p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no.  1     .987p.u.
Transformer no.  2    1.019p.u.
Transformer no.  3    1.031p.u.
```

The Iteration details:

Iter. No.	power loss (MW)
1	12.879
2	12.715
3	12.799
4	12.706
5	12.780
6	12.642
7	12.572
8	12.575
9	12.599
10	12.547
11	12.603
12	12.561
13	12.601
14	12.557
15	12.605
16	12.546

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.100	253.00	.00	231.55	-4.41	.00	.00
2	2	1.081	248.65	-4.56	40.00	46.37	21.70	12.70
3	2	1.040	239.20	-11.74	.00	20.27	94.20	19.00
4	1	1.046	240.63	-9.45	.00	.00	47.80	-1.10
5	1	1.050	241.50	-8.00	.00	.00	7.60	-3.40
6	2	1.033	237.52	-13.51	.00	-1.67	11.20	7.50
7	1	1.050	241.50	-12.64	.00	.00	.00	-5.00
8	2	1.089	250.43	-12.64	.00	24.00	.00	.00
9	1	1.031	237.09	-14.32	.00	.00	29.50	11.60
10	1	1.024	235.42	-14.49	.00	.00	9.00	5.80
11	1	1.025	235.65	-14.15	.00	.00	3.50	1.80
12	1	1.018	234.20	-14.42	.00	.00	6.10	1.60
13	1	1.014	233.27	-14.52	.00	.00	13.50	5.80
14	1	1.005	231.16	-15.47	.00	.00	14.90	5.00

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	156.65	-13.00	-152.71	18.77	3.95	5.77	6.28
2	2	3	73.22	6.96	-71.03	-2.66	2.19	4.31	4.93
3	2	4	56.33	2.97	-54.74	-2.38	1.59	.60	4.23
4	1	5	74.89	8.59	-72.33	-3.70	2.56	4.90	5.69
5	2	5	41.45	4.96	-40.59	-6.20	.86	1.23	3.86
6	3	4	-23.17	3.93	23.52	-6.79	.35	2.86	3.76
7	4	5	-62.26	10.49	62.75	-10.36	.49	.13	1.41
8	7	8	.00	-23.15	.00	24.01	.00	.86	.00
9	7	9	28.89	18.71	-28.89	-17.53	.00	1.18	.00
10	9	10	6.08	6.60	-6.05	-6.53	.02	.06	.00
11	6	11	6.49	1.17	-6.45	-1.08	.04	.08	.00
12	6	12	7.61	2.22	-7.54	-2.07	.07	.15	.00
13	6	13	17.27	6.00	-17.06	-5.59	.21	.41	.00
14	9	14	10.10	5.15	-9.95	-4.82	.15	.33	.00
15	10	11	-2.95	.73	2.95	-.72	.01	.02	.00
16	12	13	1.44	.47	-1.43	-.47	.00	.00	.00
17	13	14	4.99	.26	-4.95	-.18	.04	.08	.00

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	4	7	28.89	-7.69	-28.89	9.44	.00	1.75
2	4	9	16.79	7.47	-16.79	-5.82	.00	1.65
3	5	6	42.57	23.65	-42.57	-18.56	.00	5.10

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	271.55	84.58
load	259.00	61.30
line charging	.00	30.16
static capacitor	.00	.00
loss	12.5455	31.4729
mismatch	.0001	21.9708

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อสังเกต

จะเห็นได้ว่าหลังจากการทำออปติไมซ์แล้ว ระบบอยู่ในเงื่อนไขบังคับของระบบ(ขนาดแรงดันของโหลดบัสและการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในขีดจำกัด) และกำลังสูญเสียลดลงจาก 13.7605 เหลือ 12.5455 MW

(ข) ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 10 MVARS

จากการทำออปติไมซ์ ผลปรากฏว่ากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด จะมีค่าเท่ากับ 12.5459 MW โดยใช้การคำนวณ 13 อิทเทอร์เรชั่น ตามรายละเอียดดังนี้

The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus 2 1.080p.u.
Generator voltage at bus 3 1.036p.u.
Generator voltage at bus 6 1.037p.u.
Generator voltage at bus 8 1.077p.u.
Generator voltage at bus 1 1.100p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus 7 .050p.u.
Switchable Var Source at bus 5 .013p.u.
Switchable Var Source at bus 4 .050p.u.
Switchable Var Source at bus 9 .069p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no. 1 1.002p.u.
Transformer no. 2 1.003p.u.
Transformer no. 3 1.017p.u.

The Iteration details:

Iter. No.	power loss (MW)
1	12.212
2	12.448
3	12.659
4	12.817
5	12.636
6	12.813
7	12.643
8	12.591
9	12.574
10	12.578
11	12.546
12	12.573
13	12.548

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	271.55	85.13
load	259.00	59.09
line charging	.00	30.10
static capacitor	.00	.00
loss	12.5459	30.1830
mismatch	.0005	25.9534

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.100	253.00	.00	231.55	-3.11	.00	.00
2	2	1.080	248.49	-4.55	40.00	46.91	21.70	12.70
3	2	1.036	238.29	-11.70	.00	17.30	94.20	19.00
4	1	1.045	240.24	-9.43	.00	.00	47.80	-1.10
5	1	1.050	241.50	-8.01	.00	.00	7.60	-1.74
6	2	1.037	238.45	-13.58	.00	7.58	11.20	7.50
7	1	1.050	241.50	-12.61	.00	.00	.00	-5.00
8	2	1.077	247.68	-12.61	.00	16.44	.00	.00
9	1	1.031	237.08	-14.30	.00	.00	29.50	7.73
10	1	1.024	235.58	-14.48	.00	.00	9.00	5.80
11	1	1.027	236.19	-14.18	.00	.00	3.50	1.80
12	1	1.022	235.07	-14.48	.00	.00	6.10	1.60
13	1	1.018	234.08	-14.57	.00	.00	13.50	5.80
14	1	1.007	231.52	-15.48	.00	.00	14.90	5.00

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	156.57	-11.69	-152.63	17.44	3.94	5.75	6.28
2	2	3	73.08	8.71	-70.88	-4.34	2.20	4.37	4.91
3	2	4	56.35	3.56	-54.75	-2.94	1.60	.62	4.22
4	1	5	74.97	8.58	-72.40	-3.67	2.57	4.92	5.69
5	2	5	41.51	4.50	-40.65	-5.73	.86	1.23	3.86
6	3	4	-23.32	2.65	23.68	-5.49	.35	2.85	3.74
7	4	5	-62.32	6.26	62.80	-6.15	.48	.11	1.40
8	7	8	.00	-16.03	.00	16.44	.00	.41	.00
9	7	9	29.11	18.75	-29.11	-17.55	.00	1.20	.00
10	9	10	6.05	5.71	-6.03	-5.66	.02	.06	.00
11	6	11	6.52	2.05	-6.47	-1.96	.04	.09	.00
12	6	12	7.64	2.33	-7.56	-2.18	.07	.15	.00
13	6	13	17.30	6.45	-17.09	-6.04	.21	.41	.00
14	9	14	10.04	4.58	-9.90	-4.27	.15	.31	.00
15	10	11	-2.97	-.14	2.97	.16	.01	.02	.00
16	12	13	1.46	.58	-1.46	-.58	.01	.00	.00
17	13	14	5.05	.82	-5.00	-.73	.04	.09	.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	4	7	29.11	-.66	-29.11	2.28	.00	1.62
2	4	9	16.49	3.93	-16.49	-2.47	.00	1.45
3	5	6	42.65	15.29	-42.65	-10.75	.00	4.54

6.5.7.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 7

จะเห็นได้ว่า การทำปัญหาออปติไมซ์ในระบบใหญ่ ๆ จะมีความผิดพลาดในการหาจุด optimum มากขึ้น ทั้งนี้ เพราะอสมการควบคุมระบบที่ใช้มีตัวแปรมากขึ้นและการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์รีแอกทีฟจะให้ผลน้อยมากในการลดกำลังสูญเสีย ในทางปฏิบัติแล้ว ในโหลดบัสส่วนมากจะติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดไม่เกิน 10 MVARS เนื่องจากจะให้ผลในการลดกำลังสูญเสียใกล้เคียงกับอุปกรณ์ขนาดใหญ่ และเป็นการประหยัดในการติดตั้งอุปกรณ์มากขึ้น

6.5.8 ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 8

การศึกษาในตัวอย่างที่ 8 นี้จะแสดงถึงการทำปัญหาการลดกำลังสูญเสียให้น้อยที่สุดของระบบไฟฟ้ากำลัง 30 บัส 37 สายส่ง 4 หม้อแปลง จากสมการโหลดโฟลว์พื้นฐานในหัวข้อที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าขนาดแรงดันโหลดบัสตั้งแต่บัสที่ 19 ถึงบัสที่ 30 (ยกเว้นบัสที่ 28) มีขนาดแรงดันไม่อยู่ในขีดจำกัด (1.0 - 1.4 pu.) ดังนั้นระบบ จึงต้องการการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด จากการพิจารณาเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟ ของข้อมูล ระบบ 30 บัส โดยอาศัยค่าดัชนี (index) ต่าง ๆ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$[\ S.index\ ] = [26,30,29,14,23,25,16,24,27,18,17,20,15,12,3,10,22,21,4,6] \qquad (6.5.8.1)$$

$$[\ V.index\ ] = [24,22,21,10,17,23,15,9,12,16,6,20,4,18,19,14,28,3,7,25,27,26,29]$$

$$[L.index\ ] = [26,30,29,25,24,27,23,21,19,22,20,18,17,15,10,16,7,9,28,3,6,14,4,12]$$

$$[T.index\ ] = [24,23,26,30,17,29,25,16,21,22,15,20,18,27,19,10,9,14,7,28,6,3,4]$$

โดยมี $[\ W.T.] = [61,57,51,47,46,46,45,42,42,42,41,40,39,39,37,36,33,33,33,24,24,22,19,18,16]$

เราจึงเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟเข้าที่บัส 24,23,26,30,17 และ 26 ตามลำดับ

ผลตอบของการคำนวณปัญหาออปติไมซ์มีค่าต่อไปนี้

ก. ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 5 MVARS

จากการทำออปติไมซ์ ผลปรากฏว่ากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด จะมีค่าเท่ากับ 7.021 MW โดยใช้การคำนวณ 6 อิทเทอร์เรชั่น ตามรายละเอียดดังนี้

```
The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus  2    1.038p.u.
Generator voltage at bus  5    1.016p.u.
Generator voltage at bus  8    1.033p.u.
Generator voltage at bus 11    1.097p.u.
Generator voltage at bus 13    1.058p.u.
Generator voltage at bus  1    1.061p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus 24     .050p.u.
Switchable Var Source at bus 23     .050p.u.
Switchable Var Source at bus 26     .030p.u.
Switchable Var Source at bus 30     .032p.u.
Switchable Var Source at bus 17     .050p.u.
Switchable Var Source at bus 29     .010p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no.  1     .979p.u.
Transformer no.  2    1.033p.u.
Transformer no.  3     .979p.u.
Transformer no.  4    1.003p.u.
```

The Iteration details:

Iter. No.	power loss (MW)
1	7.173
2	7.082
3	7.088
4	7.030
5	7.066
6	7.021

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.061	244.00	.00	138.46	11.18	.00	.00
2	2	1.038	238.68	-2.57	57.56	-19.57	21.70	12.70
3	1	1.040	239.22	-4.57	.00	.00	2.40	1.20
4	1	1.035	237.96	-5.47	.00	.00	7.60	1.60
5	2	1.016	233.63	-8.83	24.56	25.36	94.20	19.00
6	1	1.031	237.10	-6.35	.00	.00	.00	.00
7	1	1.017	233.92	-7.89	.00	.00	22.80	10.90
8	2	1.033	237.59	-6.37	35.00	32.76	30.00	30.00
9	1	1.040	239.24	-8.01	.00	.00	.00	.00
10	1	1.027	236.26	-9.92	.00	.00	5.80	2.00
11	2	1.097	252.40	-6.14	17.93	30.47	.00	.00
12	1	1.031	237.18	-9.11	.00	.00	11.20	7.50
13	2	1.058	243.41	-7.87	16.91	20.65	.00	.00
14	1	1.019	234.41	-10.08	.00	.00	6.20	1.60
15	1	1.017	233.99	-10.27	.00	.00	8.20	2.50
16	1	1.024	235.50	-9.79	.00	.00	3.50	1.80
17	1	1.024	235.45	-10.16	.00	.00	9.00	.80
18	1	1.008	231.95	-10.87	.00	.00	3.20	.90
19	1	1.006	231.47	-11.03	.00	.00	9.50	3.40
20	1	1.011	232.48	-10.81	.00	.00	2.20	.70
21	1	1.017	233.81	-10.44	.00	.00	17.50	11.20
22	1	1.018	234.07	-10.44	.00	.00	.00	.00
23	1	1.018	234.07	-10.94	.00	.00	3.20	-3.40
24	1	1.014	233.11	-11.11	.00	.00	8.70	1.70
25	1	1.023	235.38	-11.11	.00	.00	.00	.00
26	1	1.017	233.95	-11.94	.00	.00	3.50	-.70
27	1	1.032	237.36	-10.66	.00	.00	.00	.00
28	1	1.029	236.75	-6.82	.00	.00	.00	.00
29	1	1.021	234.73	-12.10	.00	.00	2.40	-.07
30	1	1.014	233.19	-13.09	.00	.00	10.60	-1.27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	90.53	11.37	-89.09	-12.90	1.43	1.52	5.81
2	1	3	47.94	-.19	-47.01	-.52	.92	.33	4.50
3	2	4	29.03	-8.85	-28.56	6.33	.47	2.52	3.95
4	3	4	44.61	-.68	-44.37	.49	.24	.19	.88
5	2	5	58.16	-1.44	-56.68	3.26	1.48	1.82	4.41
6	2	6	37.76	-9.09	-36.96	7.51	.80	1.59	4.00
7	4	6	39.40	-2.17	-39.23	1.81	.17	.36	.96
8	5	7	-12.96	3.10	13.04	-5.00	.08	1.90	2.11
9	6	7	36.18	5.16	-35.84	-5.90	.34	.74	1.78
10	6	8	-.70	-5.46	.71	4.51	.00	.95	.96
11	9	11	-17.93	-28.31	17.93	30.47	.00	2.16	.00
12	9	10	32.50	12.78	-32.50	-11.54	.00	1.24	.00
13	12	13	-16.91	-19.76	16.91	20.65	.00	.89	.00
14	12	14	7.54	1.28	-7.48	-1.14	.07	.14	.00
15	12	15	17.49	2.26	-17.30	-1.88	.19	.38	.00
16	12	16	6.60	.70	-6.57	-.61	.04	.08	.00
17	14	15	1.28	-.46	-1.27	.47	.00	.00	.00
18	16	17	3.07	-1.19	-3.06	1.21	.01	.02	.00
19	15	18	5.60	1.42	-5.57	-1.35	.03	.07	.00
20	18	19	2.37	.45	-2.37	-.44	.00	.01	.00
21	19	20	-7.13	-2.96	7.15	3.00	.02	.04	.00
22	10	20	9.45	3.91	-9.35	-3.70	.09	.21	.00
23	10	17	5.96	2.04	-5.94	-2.01	.01	.03	.00
24	10	21	15.88	7.32	-15.78	-7.10	.10	.22	.00
25	10	22	7.67	2.84	-7.62	-2.74	.05	.09	.00
26	21	22	-1.72	-4.10	1.73	4.10	.00	.00	.00
27	15	23	4.77	-2.51	-4.74	2.56	.03	.06	.00
28	22	24	5.89	-1.36	-5.85	1.42	.04	.06	.00
29	23	24	1.54	.84	-1.53	-.83	.00	.01	.00
30	24	25	-1.31	-2.29	1.33	2.32	.01	.02	.00
31	25	26	3.53	-.65	-3.50	.70	.03	.05	.00
32	25	27	-4.86	-1.66	4.88	1.72	.03	.05	.00
33	27	29	6.18	-.34	-6.10	.49	.08	.15	.00
34	27	30	7.08	-.50	-6.93	.78	.15	.28	.00
35	29	30	3.70	-.42	-3.67	.48	.03	.06	.00
36	8	28	4.29	-1.75	-4.28	-2.76	.01	1.01	4.55
37	6	28	13.90	-1.93	-13.87	.66	.03	1.27	1.38

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	6	9	14.57	-14.66	-14.57	15.53	.00	.87
2	6	10	12.25	7.58	-12.25	-6.56	.00	1.02
3	4	12	25.93	-6.26	-25.93	8.03	.00	1.77
4	28	27	18.15	2.10	-18.15	-.87	.00	1.23

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	290.42	100.85
load	283.40	104.06
line charging	.00	35.30
static capacitor	.00	.00
loss	7.0213	25.4149
mismatch	.0008	6.6743

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ข) ขีดจำกัดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาดชุดละ 10 MVARS

จากการทำออปติไมซ์ ผลปรากฏว่ากำลังสูญเสียที่น้อยที่สุด จะมีค่าเท่ากับ 6.9313 MW โดยใช้การคำนวณ 7 อิทเทอร์เรชั่น ตามรายละเอียดดังนี้

```
The control variables details:
1.Generator voltage variable
Generator voltage at bus  2    1.055p.u.
Generator voltage at bus  5    1.015p.u.
Generator voltage at bus  8    1.026p.u.
Generator voltage at bus 11    1.093p.u.
Generator voltage at bus 13    1.038p.u.
Generator voltage at bus  1    1.070p.u.
2.Switchable Var Source variable
Switchable Var Source at bus 24     .040p.u.
Switchable Var Source at bus 23     .040p.u.
Switchable Var Source at bus 26     .040p.u.
Switchable Var Source at bus 30     .020p.u.
Switchable Var Source at bus 17     .040p.u.
Switchable Var Source at bus 29     .020p.u.
3.Transformer Tap variable
Transformer no.  1     .998p.u.
Transformer no.  2    1.000p.u.
Transformer no.  3    1.017p.u.
Transformer no.  4     .998p.u.
```

The Iteration details:

Iter. No.	power loss (MW)
1	7.071
2	7.257
3	6.950
4	6.931
5	6.951
6	7.064
7	6.941

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** bus voltage and power generation ***

bus no.	bus type	bus voltage pu	bus voltage kv	bus voltage deg	generation MW	generation MVAR	load MW	load MVAR
1	3	1.070	246.14	.00	138.37	2.38	.00	.00
2	2	1.055	242.64	-2.66	57.56	26.88	21.70	12.70
3	1	1.040	239.19	-4.34	.00	.00	2.40	1.20
4	1	1.033	237.49	-5.20	.00	.00	7.60	1.60
5	2	1.015	233.35	-8.57	24.56	16.34	94.20	19.00
6	1	1.028	236.54	-6.06	.00	.00	.00	.00
7	1	1.015	233.47	-7.61	.00	.00	22.80	10.90
8	2	1.026	236.06	-6.01	35.00	20.75	30.00	30.00
9	1	1.040	239.20	-7.69	.00	.00	.00	.00
10	1	1.021	234.76	-9.63	.00	.00	5.80	2.00
11	2	1.093	251.28	-5.81	17.93	27.89	.00	.00
12	1	1.029	236.63	-8.82	.00	.00	11.20	7.50
13	2	1.038	238.81	-7.55	16.91	7.07	.00	.00
14	1	1.016	233.68	-9.79	.00	.00	6.20	1.60
15	1	1.013	233.04	-9.97	.00	.00	8.20	2.50
16	1	1.019	234.48	-9.49	.00	.00	3.50	1.80
17	1	1.017	233.95	-9.85	.00	.00	9.00	.80
18	1	1.003	230.78	-10.58	.00	.00	3.20	.90
19	1	1.001	230.19	-10.74	.00	.00	9.50	3.40
20	1	1.005	231.14	-10.52	.00	.00	2.20	.70
21	1	1.010	232.22	-10.14	.00	.00	17.50	11.20
22	1	1.011	232.46	-10.14	.00	.00	.00	.00
23	1	1.011	232.47	-10.60	.00	.00	3.20	-5.40
24	1	1.005	231.23	-10.79	.00	.00	8.70	-.30
25	1	1.015	233.46	-10.86	.00	.00	.00	.00
26	1	1.012	232.87	-11.84	.00	.00	3.50	-.70
27	1	1.022	234.96	-10.38	.00	.00	.00	.00
28	1	1.026	236.05	-6.51	.00	.00	.00	.00
29	1	1.011	232.54	-11.88	.00	.00	2.40	-.27
30	1	1.001	230.19	-12.79	.00	.00	10.60	.39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in line ***

line no.	from bus p	to bus q	flow from bus p MW	flow from bus p MVAR	flow to bus q MW	flow to bus q MVAR	loss MW	loss MVAR	line charg. MVAR
1	1	2	90.99	-2.91	-89.60	1.10	1.39	1.81	5.96
2	1	3	47.38	5.29	-46.47	-6.11	.91	.82	4.54
3	2	4	29.33	2.54	-28.88	-5.18	.45	2.63	4.01
4	3	4	44.07	4.91	-43.83	-5.10	.24	.19	.88
5	2	5	58.14	8.18	-56.66	-6.44	1.48	1.74	4.48
6	2	6	38.00	2.35	-37.23	-4.09	.76	1.74	4.06
7	4	6	38.41	-.94	-38.25	.56	.16	.38	.96
8	5	7	-12.98	3.78	13.07	-5.67	.09	1.88	2.10
9	6	7	36.21	4.50	-35.87	-5.23	.34	.74	1.77
10	6	8	-.81	4.78	.81	-5.72	.00	.94	.95
11	9	11	-17.93	-25.97	17.93	27.89	.00	1.92	.00
12	9	10	32.56	18.81	-32.56	-17.37	.00	1.44	.00
13	12	13	-16.91	-6.63	16.91	7.07	.00	.44	.00
14	12	14	7.69	1.60	-7.61	-1.45	.07	.15	.00
15	12	15	17.81	3.59	-17.60	-3.18	.21	.41	.00
16	12	16	6.91	1.69	-6.86	-1.59	.05	.09	.00
17	14	15	1.41	-.15	-1.41	.15	.00	.00	.00
18	16	17	3.36	-.21	-3.35	.23	.01	.02	.00
19	15	18	5.79	1.74	-5.76	-1.66	.04	.08	.00
20	18	19	2.56	.76	-2.55	-.75	.00	.01	.00
21	19	20	-6.95	-2.65	6.97	2.69	.02	.04	.00
22	10	20	9.26	3.58	-9.17	-3.39	.09	.20	.00
23	10	17	5.66	2.06	-5.65	-2.03	.01	.03	.00
24	10	21	15.91	7.69	-15.81	-7.47	.10	.22	.00
25	10	22	7.69	3.08	-7.64	-2.98	.05	.10	.00
26	21	22	-1.69	-3.73	1.70	3.74	.00	.00	.00
27	15	23	5.02	-1.21	-4.99	1.26	.03	.05	.00
28	22	24	5.94	-.75	-5.90	.82	.04	.06	.00
29	23	24	1.79	1.14	-1.79	-1.13	.01	.01	.00
30	24	25	-1.01	-2.39	1.02	2.41	.01	.02	.00
31	25	26	3.54	-1.64	-3.50	1.70	.04	.06	.00
32	25	27	-4.56	-.77	4.58	.81	.02	.04	.00
33	27	29	6.19	-.60	-6.11	.76	.08	.15	.00
34	27	30	7.07	-.09	-6.92	.38	.15	.29	.00
35	29	30	3.71	.34	-3.68	-.23	.03	.06	.00
36	8	28	4.19	-3.54	-4.13	-.94	.01	2.60	4.51
37	6	28	13.70	-.88	-13.67	-.39	.03	.49	1.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** power flow in transformer ***

trans no.	from bus e	to bus f	flow from bus e MW	flow from bus e MVAR	flow to bus f MW	flow to bus f MVAR	loss MW	loss MVAR
1	6	9	14.63	-6.66	-14.63	7.17	.00	.51
2	6	10	11.75	1.79	-11.75	-1.04	.00	.74
3	4	12	26.70	9.62	-26.70	-7.75	.00	1.87
4	28	27	17.85	1.32	-17.85	-.11	.00	1.21

*** system total ***

	MW	MVAR
generation	290.33	101.30
load	283.40	101.51
line charging	.00	35.59
static capacitor	.00	.00
loss	6.9313	26.1890
mismatch	.0016	9.1913

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.5.8.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษาตัวอย่างที่ 8

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำปัญหาออปติไมซ์การลดกำลังสูญเสียของระบบแล้ว จะทำให้ระบบมีมีลักษณะ performance ดีขึ้นอยู่ในเงื่อนไขบังคับของระบบ คือ ขนาดแรงดันที่โหลดบัสและกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าอยู่ในขีดจำกัด และ ระบบมีกำลังสูญเสียน้อยลง ทำนองเดียวกันกับ ตัวอย่างที่ 8 ผลของการเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟจะให้ผลน้อยมากในการลดกำลังสูญเสียในระบบใหญ่ ๆ ควรเลือกติดตั้งอุปกรณ์ผลิตกำลังรีแอกทีฟขนาด 5 MVARS ก็เพียงพอแล้ว เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการลดกำลังงานสูญเสียใกล้เคียงกับ 10 MVARS มาก

ตารางที่ 6.5.8.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดกำลังงานสูญเสียของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดไม่เท่ากัน

ขนาดของระบบ	ขีดจำกัดอุปกรณ์	กำลังสูญเสีย(MW)	ประสิทธิภาพ(%)
6 บัส	5 MVARS	9.0250	22.27
	10 MVARS	8.8160	24.07
14 บัส	5 MVARS	12.5455	8.83
	10 MVARS	12.5459	8.82
30 บัส	5 MVARS	7.0210	7.28
	10 MVARS	6.9310	8.47

จะเห็นได้ว่าผลและการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาทั้ง 8 ตัวอย่างนั้น สนับสนุนและสอดคล้อง กับ เหตุผลทางทฤษฎีดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 จึงได้นำไปสรุปและให้ข้อเสนอแนะไว้ในบทที่ 7 ต่อไป