

รายการอ้างอิง

- [1] David, H.S. Cogeneration. USA:Reston Publishing Company Inc, 1985.
- [2] Powell, L. J. An Industrial View of Utility Cogeneration Protection Requirements. IEEE Transaction on Industry Applications Vol.24, No.1 (January 1988).
- [3] Clark, H. K., and Feltes, J. W. Industrial and Cogeneration Protection Problems Requiring Simulation. IEEE Transaction on Industry Applications Vol.25, No.4 (July/August 1989).
- [4] IEEE Special Report. Inter-tie Protection of Consumer-Owned Source of Generation 3 MW or less. IEEE Transaction on Power Delivery Vol.5, No.2 (April 1990).
- [5] Redfern, M. A., and Usta, O., and Fielding, G. Protection against Loss of Utility Grid Supply for A Dispersed Storage and Generation Unit. IEEE Transaction on Power Delivery Vol.8, No.3 (July 1993).
- [6] Redfern, M. A., and Usta, O., and Barrett, J.I. Protection of Dispersed Storage and Generation Units against Islanding. IEEE Transaction on Power Delivery (1994).
- [7] Hsu, C.T., and Chen, C.S., and Chen, J.K. The Load-Shedding Scheme Design for an Integrated Steelmaking Cogeneration Facility. IEEE Transaction on Industry Applications Vol.33, No.3 (May/June 1997).
- [8] Anderson, P.M. Power System Protection. Singapore:McGraw-Hill, 1999.
- [9] พรชัย ปฏิภาณปรีชาวุฒิ. เสถียรภาพชั่วคราวของระบบโคเจนเนอเรชันที่ต่อเข้ากับระบบจ่ายไฟฟ้าของรัฐ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตปีการศึกษา 2532.
- [10] กนต์ธร ชำนิประศาสน์. คู่มือการใช้โปรแกรม MATLAB แนะนำการใช้โปรแกรมสำหรับงานทางวิศวกรรม. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [11] Horowitz, S. H., and Phadke, A. G. Power System Relaying. England:John Wiley & Sons Inc, 1995.
- [12] ชัยณรงค์ ธิติธำรงชัย. ผลกระทบจากระบบการผลิตพลังงานร่วมต่อความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตปีการศึกษา 2541.

- [13] Stagg, G.W., and El-Abiad, A.H. Computer Methods in Power System Analysis. Singapore:McGraw-Hill, 1987.
- [14] Saadat, H. Power System Analysis. Singapore:McGraw-Hill, 1999.
- [15] Anderson, P. M., and Fouad, A. A. Power System Control and Stability. USA:The Iowa State Univ. Press, 1977.
- [16] Kundur, P. Power System Stability and Control. USA:McGraw-Hill, 1994.
- [17] Wood, A.J., and Wollenberg, B.F. Power Generation, Operation, and Control. USA:John Wiley & Sons Inc, 1996.
- [18] Elgerd, O.I. Electric Energy System Theory. India:McGraw-Hill, 1975.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

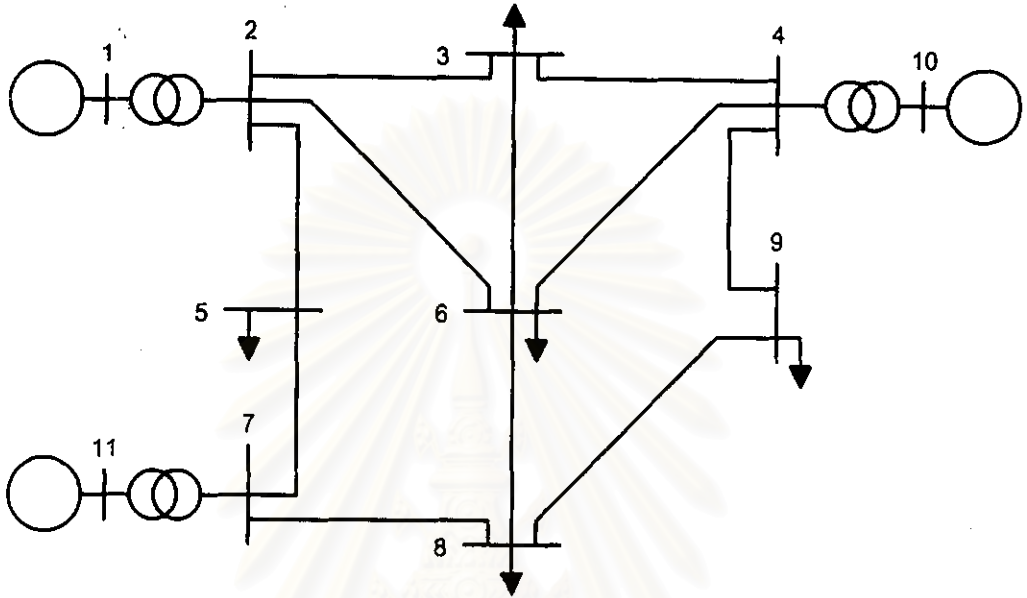


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลระบบทดสอบเดิม



รูปที่ ก.1 ระบบทดสอบขนาด 11 บัส

จากระบบทดสอบขนาด 11 บัส ดังรูปที่ ก.1 ประกอบไปด้วยข้อมูลกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลกำลังของภาทางไฟฟ้า ข้อมูลสายส่งและหม้อแปลง ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Generation Data				
Bus No.	Voltage Mag.	Generation MW	Mvar Limit Min.	Mvar Limit Max.
1	1.040			
10	1.035	200.0	0.0	180.0
11	1.030	160.0	0.0	120.0

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลกำลังของภาระทางไฟฟ้า

Load Data					
Bus No.	Load MW	Load Mvar	Bus No.	Load MW	Load Mvar
1	0.0	0.0	7	0.0	0.0
2	0.0	0.0	8	110.0	90.0
3	150.0	120.0	9	80.0	50.0
4	0.0	0.0	10	0.0	0.0
5	120.0	60.0	11	0.0	0.0
6	140.0	90.0			

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งและหม้อแปลง

Line and Transformer Data (Base 100 MVA)				
Bus No.	Bus No.	R p.u.	X p.u.	B/2 p.u.
1	2	0.000	0.006	0.000
2	3	0.008	0.030	0.004
2	5	0.004	0.015	0.002
2	6	0.012	0.045	0.005
3	4	0.010	0.040	0.005
3	6	0.004	0.040	0.005
4	6	0.015	0.060	0.008
4	9	0.018	0.070	0.009
4	10	0.000	0.008	0.000
5	7	0.005	0.043	0.003
6	8	0.006	0.048	0.000
7	8	0.006	0.035	0.004
7	11	0.000	0.010	0.000
8	9	0.005	0.048	0.000

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การแสดงค่าต่อหน่วย (Per Unit Representation)

ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง จะมีความสะดวกมากเมื่อมีการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ในลักษณะของค่าต่อหน่วย (per unit) ทำให้การคำนวณทำได้ในรูปแบบที่ง่ายขึ้นโดยแสดงค่าต่างๆ ในลักษณะของอัตราส่วน ดังนี้

$$\text{quantity in per unit} = \frac{\text{actual quantity}}{\text{base value of quantity}}$$

ในการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีค่าตัวแปรต่างๆ มากมาย การแปลงค่าต่อหน่วย ทำให้ลดความยุ่งยากในการคำนวณลงไปได้เป็นอย่างมาก โดยค่าฐาน (Base) ที่ใช้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามักดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} e_{base} &= \text{peak value of rated line-to-neutral voltage, } V \\ i_{base} &= \text{peak value of rated line current, } A \\ f_{base} &= \text{rated frequency, } Hz \end{aligned}$$

ส่วนค่าฐานของปริมาณอื่นๆ สามารถกำหนดได้โดยอัตโนมัติ และขึ้นอยู่กับค่าฐานข้างต้น ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \omega_{base} &= 2\pi f_{base}, \text{ elec. radians/second} \\ \omega_{mbase} &= \omega_{base} \left(\frac{2}{P_f} \right), \text{ mech. Radians/second} \\ Z_{base} &= \frac{e_{base}}{i_{base}}, \text{ ohms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{base} &= \frac{Z_{base}}{\omega_{base}}, \text{ henrys} \\
 \psi_{base} &= L_{base} i_{base} \\
 &= \frac{e_{base}}{\omega_{base}}, \text{ weber-turns} \\
 3\text{-phase } VA_{base} &= 3E_{RMSbase} I_{RMSbase} \\
 &= 3 \frac{e_{base} i_{base}}{\sqrt{2} \sqrt{2}} \\
 &= \frac{3}{2} e_{base} i_{base}, \text{ volt-amperes} \\
 \text{Torque base} &= \frac{3\text{-phase } VA_{base}}{\omega_{mbase}} \\
 &= \frac{3}{2} \left(\frac{p_f}{2} \right) \psi_{base} i_{base}, \text{ newton-meters} \\
 t_{base} &= \frac{1}{\omega_{base}} = \frac{1}{2\pi f_{base}}, \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

ข้อมูลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่างๆ

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และประเภทกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ขนาดต่างๆ จะรวมไปถึงข้อมูลของระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Data) และระบบควบคุมความเร็ว (Governor Data) ด้วย โดยแสดงเป็นค่าต่อหน่วย ซึ่งอ้างอิงกับค่าฐาน 100 MVA และความถี่ 60 Hz ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ความหมายค่าในตารางข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Generator			Exciter		
Unit No.		Arbitrary reference number	RR		Exciter response ratio
Rated MVA		Machine-rated MVA:base MVA for impedance	TR	s	Regulator input filter time constant
Rated kV		Machine-rated terminal voltage in kV:base kV for impedance	KA	pu	Regulator gain
Rated PF		Machine-rated power factor	TA or TA1	s	Regulator time constant (#1)
SCR		Machine short circuit ratio	TA2	s	Regulator time constant (#2)
x_d''	pu	Unsaturated d axis subtransient reactance	VRmax	pu	Maximum regulator output starting at full load field voltage
x_d'	pu	Unsaturated d axis transient reactance	VRmin	pu	Minimum regulator output starting at full load field voltage
x_d	pu	Unsaturated d axis synchronous reactance	KE	pu	Exciter self-excitation at full load field voltage ¹
x_q''	pu	Unsaturated q axis subtransient reactance	TE	s	Exciter time constant
x_q'	pu	Unsaturated q axis transient reactance	SE.75max		Rotating exciter saturation at 0.75 ceiling voltage
x_q	pu	Unsaturated q axis synchronous reactance	SEmax		Rotating exciter saturation at ceiling voltage
r_a	pu	Armature resistance	AEX		Derived saturation constant
x_l or x_p	pu	Leakage or Potier reactance	BEX		Derived saturation constant
r_2	pu	Negative-sequence resistance	EFDmax	pu	Maximum field voltage
x_2	pu	Negative-sequence reactance	EFDmin	pu	Minimum field voltage
x_0	pu	Zero-sequence reactance	KF	pu	Regulator stabilizing circuit gain
τ_d''	s	d axis subtransient short circuit time constant	TF or TF1	s	Regulator stabilizing circuit time constant (#1)
τ_d'	s	d axis transient short circuit time constant	TF2	s	Regulator stabilizing circuit time constant (#2)
τ_{d0}''	s	d axis subtransient open circuit time constant			
τ_{d0}'	s	d axis transient open circuit time constant			
τ_q''	s	q axis subtransient short circuit time constant			
τ_q'	s	q axis transient short circuit time constant			
τ_{q0}''	s	q axis subtransient open circuit time constant			
τ_{q0}'	s	q axis transient open circuit time constant			
τ_a	s	Armature time constant	Turbine-Governor		
WR	MW-s	Kinetic energy of turbine+generator at rated speed in MJ or MW-s	R		Droop
r_f	Ω	Machine field resistance in Ω	Pmax	MW	Maximum turbine output in MW
SG1.0		Machine saturation at 1.0 pu voltage in pu	TG	s	Governor control time constant
SG1.2		Machine saturation at 1.2 pu voltage in pu	T1	s	Servo time constant
EFDL		Machine full load excitation in pu	T2	s	Steam valve bowl time constant
D		Machine load damping coefficient	T3	s	Steam reheat time constant
			F		pu shaft output ahead of reheater

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันไอน้ำ (ต่อ)
(Typical Data for Fossil Steam (F) Units)

Exciter												
Unit no.		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
RR		0.50	0.50	1.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
TR	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.060	0.000	0.060	0.060	0.000	0.000
KA	pu	0.050	57.140	400.000	0.050	25.000	25.000	175.000	25.000	25.000	250.000	30.000
TA or TA1	s	20.000	0.050	0.050	20.000	0.200	0.200	0.050	0.200	0.200	0.060	0.400
TA2	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VRmax	pu	6.812	1.000	0.6130	4.380	1.000	1.000	3.120	1.000	1.000	4.420	4.590
VRmin	pu	1.395	-1.000	-0.6130	0.000	-1.000	-1.000	-3.120	-1.000	-1.000	-4.420	-4.590
KE	pu	1.000	-0.0445	-0.0769	1.000	-0.0582	-0.0601	-0.170	-0.0497	-0.0505	1.000	-0.020
TE	s	0.700	0.500	1.370	1.980	0.6544	0.6758	0.952	0.560	0.5685	0.613	0.560
SE.75max		0.414	0.0684	0.1120	0.0967	0.0895	0.0924	0.220	0.0765	0.0778	0.010	0.730
SEmax		0.908	0.2667	0.2254	0.3774	0.349	0.3604	0.950	0.2985	0.303	0.270	1.350
AEX		0.0392	0.0012	0.0137	0.0016	0.0015	0.0016	0.0027	0.0013	0.0013	0.000	0.1154
BEX		0.8807	1.2096	0.6774	1.7128	1.5833	1.6349	1.4628	1.3547	1.3733	3.7884	0.7128
EFDmax	pu	3.567	4.500	4.130	3.180	3.438	3.330	4.000	4.020	3.960	3.480	3.450
EFDmin	pu	1.417	-4.500	-4.130	0.000	-3.438	-3.330	-4.000	-4.020	-3.960	0.000	-3.450
KF	pu	0.000	0.080	0.040	0.000	0.105	0.108	0.030	0.0896	0.091	0.053	0.050
TF or TF1	s	0.000	1.000	1.000	0.000	0.350	0.350	1.000	0.350	0.350	0.330	1.300
TF2	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Turbine-Governor												
Unit no.		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
R		0.050	0.050	0.078	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Pmax	MW	22.50	36.10	53.00	75.00	105.00	132.00	121.00	142.30	175.00	210.00	230.00
τG	s	0.200	0.200	0.200	0.090	0.090	0.083	0.200	0.100	0.083	0.150	0.100
τ1	s	0.300	0.300	0.300	0.200	0.200	0.200	0.300	0.200	0.200	0.100	0.259
τ2	s	0.090	0.200	0.090	0.300	0.300	0.050	0.090	0.050	0.050	0.300	0.100
τ3	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	10.000	8.000	8.000	10.000	10.000
F		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.280	0.250	0.300	0.271	0.237	0.272

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันไอน้ำ (ต่อ)

(Typical Data for Fossil Steam (F) Units)

Exciter											
Unit no.		F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21
RR		0.50	0.50	0.50	0.50	1.50	0.50	3.50	2.00	2.50	0.50
TR	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
KA	pu	400.000	400.000	400.000	50.000	200.000	30.000	200.000	400.000	250.000	50.000
TA or TA1	s	0.050	0.020	0.020	0.060	0.3950	0.400	0.3575	0.020	0.200	0.060
TA2	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VRmax	pu	3.810	8.130	5.270	1.000	3.840	5.990	5.730	18.300	5.150	1.000
VRmin	pu	-3.810	-8.130	-5.270	-1.000	-3.840	-5.990	-5.730	-18.300	-5.150	-1.000
KE	pu	-0.170	1.000	1.000	-0.0465	1.000	-0.020	1.000	1.000	1.000	-0.0393
TE	s	0.950	0.812	0.920	0.520	0.000	0.560	0.000	0.942	0.000	0.440
SE.75max		0.220	0.459	0.435	0.071	0.000	0.730	0.000	0.813	0.000	0.064
SEmax		0.950	0.656	0.600	0.278	0.000	1.350	0.000	2.670	0.000	0.235
AEX		0.0027	0.1572	0.1658	0.0012	0.000	0.1154	0.000	0.023	0.000	0.0013
BEX		0.3857	0.2909	0.3910	1.2639	0.000	0.5465	0.000	0.9475	0.000	1.1562
EFDmax	pu	4.890	4.910	3.290	4.320	3.840	4.500	5.730	5.020	5.150	4.500
EFDmin	pu	-4.890	0.000	0.000	-4.320	-3.840	-4.500	-5.730	0.000	-5.150	-4.500
KF	pu	0.040	0.060	0.030	0.0832	0.0635	0.050	0.0529	0.030	0.036	0.070
TF or TF1	s	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.000	1.000	1.000	1.000
TF2	s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Turbine-Governor											
Unit no.		F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21
R		0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Pmax	MW	347.00	360.00	367.00	390.00	460.00	497.00	553.00	766.29	810.00	820.00
TG	s	0.100	0.220	0.180	0.100	0.150	0.100	0.080	0.180	0.100	0.100
T1	s	0.400	0.200	0.040	0.300	0.300	0.300	0.150	0.200	0.200	0.200
T2	s	0.050	0.250	0.250	0.050	0.260	0.100	0.050	0.000	0.100	0.100
T3	s	8.000	8.000	8.000	10.000	8.000	10.000	10.000	8.000	8.720	8.720
F		0.250	0.270	0.267	0.250	0.270	0.300	0.280	0.300	0.300	0.300

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทกังหันเชื้อเพลิงเผาไหม้
(Typical Data for Combustion Turbine (CT) Units)

Generator				Exciter			
Unit no.		CT1	CT2	Unit no.		CT1	CT2
Rated MVA		20.65	62.50	RR		...	0.50
Rated kV		13.80	13.80	TR	s	0.000	0.000
Rated PF		0.85	0.85	KA	pu	120.000	400.000
SCR		0.580	0.580	TA or TA1	s	0.050	0.020
x_d''	pu	0.155	0.102	TA2	s	0.000	0.000
x_d'	pu	0.225	0.159	VRmax	pu	1.200	7.300
x_d	pu	1.850	1.640	VRmin	pu	-1.200	-7.300
x_q''	pu	...	0.100	KE	pu	1.000	1.000
x_q'	pu	...	0.306	TE	s	0.500	0.253
x_q	pu	1.740	1.575	SE.75max		...	0.500
r_a	pu	...	0.034	SEmax		...	0.860
x_l or x_p	pu	...	0.113	AEX		...	0.0983
r_2	pu	...	0.352	BEX		...	0.2972
x_2	pu	...	0.102	EFDmax	pu	...	7.300
x_0	pu	...	0.051	EFDmin	pu	...	0.000
T_d''	s	...	0.035	KF	pu	0.020	0.030
T_d'	s	...	0.730	TF or TF1	s	0.461	1.000
T_{d0}''	s	...	0.054	TF2	s	...	0.000
T_{d0}'	s	4.610	7.500	Turbine-Governor			
T_q''	s	...	0.035	Unit no.		CT1	CT2
T_q'	s	...	0.188	R		0.050	0.040
T_{q0}''	s	...	0.107	Pmax	MW	17.55	82.00
T_{q0}'	s	...	1.500	TG	s	0.000	0.500
T_a	s	...	0.350	T1	s	Oil: 0.025 Gas: 0.100	0.700
WR	MW-s	183.30	713.50	T2	s	Oil: 0.000 Gas: 0.000	0.700
r_F	Ω	...	0.261	T3	s	Oil: 0.025 Gas: 0.100	0.000
SG1.0		...	0.0870	F		Oil: 0.500 Gas: 0.000	1.000
SG1.2		...	0.2681				
EFDL		2.640	2.4348				
D		...	2.000				

ประวัติผู้เขียน

นายโยชัย ศศิวรรณ เกิดวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2518 จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 2) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 ด้วยทุนการศึกษาส่วนตัว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย