บทที่ 4

การประเมินค่าความเชื่อถือระบบจ่ายไฟ

ดังได้กล่าวไว้ในบทนำแล้วว่า ในส่วนของสมรรถนะของระบบไฟฟ้า (system performance) จะทำการประเมินค่าความเชื่อถือระบบจ่ายไฟในเขตนครหลวงในปี พ.ศ. 2533 โดยจะทำการประเมินค่าทุกๆ 1 เดือน 3 เดือน และ 1 ปี โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง ส่วนในเรื่องของการทำนายระบบไฟฟ้า (system prediction) ดำเนินการโดยสมมติตัวอย่างระบบจ่ายไฟขึ้นมาและศึกษาผลของแต่ละตัวแปรว่ามีผลต่อค่าดัชนีในแง่มุมใด และทำการเปรียบเทียบกับระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวงในปัจจุบัน

4.1 สมรรถนะของระบบจ่ายไฟในเขตการไฟฟ้านครหลวง

รายละเอียดของข้อมูลในแต่ละประเภทที่ใช้ในการคำนวณดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้แสดงเป็นตัวอย่างไว้ในตารางที่ ข.1 และ ข.2 ในภาคผนวก ข. ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนมกราคม ปี พ.ศ.2533

จากการดำเนินงานเพื่อหาดัชนีแสดงความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟในเขตนครหลวงได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 - 4.3

เมื่อเทียบกับการประเมินค่าความเชื่อถือโดยใช้ดัชนีของการไฟฟ้านครหลวงในตารางที่ 4.4 ได้ผลดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟในเขตการไฟฟ้านครหลวงโดยคำนวณค่าเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2533

เดือน	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
มกราคม	0.609457	1.603687	4.399299	7.218391	0.999901	0.000099	246195.02	0.202425	0.532648
กุมภาพันธ์	0.928450	1.866438	6.948893	7.484404	0.999828	0.000170	386132.13	0.315797	0.634839
มีนาคม	1.766497	2.509615	17.76481	10.05651	0.999602	0.000398	999611.43	0.812777	1.154691
เมษายน	1.391667	2.345506	15.61167	11.21796	0.999639	0.000361	1070051.37	0.867000	1.461236
พฤษภาคม	1.948929	2.670429	13.42834	6.890110	0.999699	0.000301	813340.40	0.654585	0.896914
มิถุนายน	1.410049	2.027972	15.15559	10.74828	0.999649	0.000351	899116.59	0.719269	1.034473
กรกฎาคม	1.845659	2.682243	17.73955	9.611498	0.999603	0.000397	999432.68	0.795054	1.155430
สิงหาคม	1.494364	2.252427	10.20934	6.831897	0.999771	0.000229	598484.04	0.473351	0.713473
กันยายน	1.827200	2.765133	13.42240	7.345884	0.999689	0.000311	838754.39	0.658815	0.996997
ตุลาคม	1.252765	2.381381	12.64771	10.09584	0.999717	0.000283	848753.07	0.662799	1.259915
พฤศจิกายน	0.980892	2.138889	7.281847	7.423701	0.999831	0.000169	392758.49	0.304930	0.664917
ธันวาคม	0.832551	1.920578	5.289515	6.353383	0.999882	0.000118	234544.93	0.180902	0.417315

ตารางที่ 4.2 ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟในเขตการไฟฟ้านครหลวงโดยคำนวณค่าทุกๆ 3 เดือนในปี พ.ศ. 2533

ไตรมาสที่	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
1	3.244556	3.725000	28.62647	8.822922	0.999779	0.000221	1588034.66	1.298206	1.490441
2	4.606061	4.928328	42.85327	9.303670	0.999673	0.000327	2699313.75	2.172112	2.324086
3	5.012461	5.310231	40.12928	8.005904	0.999697	0.000303	2404345.21	1.901059	2.013993
4	2.995370	4.002062	24.62809	8.222050	0.999814	0.000186	1443961.20	1.120893	1.497605

หมายเหตุ ตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 หน่วยของค่าดัชนีในที่นี้มีรายละเอียดคือ

SAIFI interruptions/customer

CAIFI interruptions/customer affected

SAIDI minutes/customer

CAIDI minutes/customer interruption

ASAI ASUI ไม่มีหน่วย

ENS kWh

AENS kWh/customer

ACCI kWh/customer affected

ตารางที่ 4.3 ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละตำแหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
SYSTEM	14.725660	15.036140	126.3732	8.581831	0.999760	0.000240	7847618.30	6.256572	6.388488
BANGKAPI	11.428570	11.428570	142.4286	12.462500	0.999729	0.000271	159546.28	6.160088	6.160088
BANGBON	23.400000	23.400000	365.9000	15.636750	0.999304	0.000696	630963.68	17.053070	17.053070
BANGKRACHAO	16.666670	16.666670	232.6667	13.960000	0.999557	0.000443	41384.90	7.456739	7.456739
BANGPOOD	11.875000	11.875000	108.2500	9.115789	0.999794	0.000206	46440.45	3.137868	3.137868
BANGNA	18.300000	18.300000	149.4000	8.163934	0.999716	0.000284	130793.28	7.069907	7.069907
BANGPLAKOD	9.666667	9.666667	215.6667	22.310340	0.999590	0.000410	86679.57	7.808970	7.808970
BANGKLO	21.454550	21.454550	91.2727	4.254237	0.999826	0.000174	91218.98	4.482505	4.482505
BANGMOD	5.500000	5.500000	39.3333	7.151515	0.999925	0.000075	12291.28	1.107323	1.107323
BANGKOKNOI	14.000000	14.000000	167.4615	11.961540	0.999681	0.000319	183570.26	7.632859	7.632859
BANGKHUNPROM	3.181818	3.181818	17.2727	5.428571	0.999967	0.000033	11733.70	0.576595	0.576595
BANGYEEKHAN	16.454550	18.100000	166.2727	10.104970	0.999684	0.000316	142519.03	7.003392	7.703731
CHANKASEM	19.461540	19.461540	135.3077	6.952569	0.999743	0.000257	112867.66	4.693042	4.693042

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละจำนหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
CHIDLOM	8.000000	8.000000	111.2000	13.900000	0.999788	0.000212	86555.70	4.678686	4.678686
DONMUANG	14.500000	14.500000	72.3333	4.988506	0.999862	0.000138	61049.35	2.749971	2.749971
KLONGJAN	12.928571	12.928571	138.0000	10.674033	0.999737	0.000263	164054.09	6.334135	6.334135
KLONGSARN	15.500000	15.500000	170.7500	11.016129	0.999675	0.000325	59253.75	8.007264	8.007264
KLONGSANPASAMIT	10.300000	10.300000	105.7000	10.262136	0.999799	0.000201	71213.33	3.849369	3.849369
KLONGTOEY	16.000000	16.000000	85.2500	5.328125	0.999838	0.000162	71901.49	3.238806	3.238806
LARDPLAKAO	15.333333	15.333333	137.6667	8.978261	0.999738	0.000262	25297.23	4.558060	4.558060
LUMPINI	7.111111	7.111111	83.2222	11.703125	0.999842	0.000158	104634.09	3.142165	3.142165
LARDPRAO	8.800000	8.800000	105.8000	12.022727	0.999799	0.000201	25734.92	2.782153	2.782153
MAI-AD	8.090909	8.090909	102.4545	12.662921	0.999805	0.000195	79101.90	3.887071	3.887071
MOCHIT	21.727273	21.727273	87.0000	4.004184	0.999834	0.000166	73765.47	3.624839	3.624839
MAHAMEK	12.250000	12.250000	132.9167	10.850340	0.999747	0.000253	127490.15	5.742800	5.742800
MAHAISAWAN	12.800000	12.800000	300.2000	23.453125	0.999429	0.000571	73880.48	7.987079	7.987079

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละด่านหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
MAKASAN	10.000000	10.000000	92.6364	9.263636	0.999824	0.000176	74878.61	3.679539	3.679539
NORTH BANGKOK	14.600000	14.600000	122.6000	8.397260	0.999767	0.000233	36395.20	3.934616	3.934616
NONTHABURI	14.142857	14.142857	39.9286	2.823232	0.999924	0.000076	34366.43	1.326889	1.326889
PRASANMIT	9.454545	9.454545	103.2727	10.923077	0.999804	0.000196	100977.39	4.962034	4.962034
PRACHACHUEN	20.444444	20.444444	109.6667	5.364130	0.999791	0.000209	71893.48	4.317927	4.317927
PRAPRADAENG	10.277778	10.277778	79.2778	7.713514	0.999849	0.000151	126435.72	3.796868	3.796868
PAKKRED	9.100000	10.111111	42.9000	4.714286	0.999918	0.000082	33250.10	1.797303	1.997003
PRISINGTO	8.000000	8.000000	18.0000	2.250000	0.999966	0.000034	5027.20	0.452901	0.452901
POOJAO	10.857143	10.857143	43.2857	3.986842	0.999918	0.000082	43198.72	1.667904	1.667904
PRAKANONG	16.000000	16.000000	110.1000	6.881250	0.999791	0.000209	85591.30	4.626557	4.626557
PATHUMWAN	9.555556	9.555556	45.8333	4.796512	0.999913	0.000087	43083.92	1.293811	1.293811
PRANNOK	8.083333	8.083333	49.5833	6.134021	0.999906	0.000094	38878.25	1.751272	1.751272
PETCHKASEM	14.909091	14.909091	136.5455	9.158537	0.999740	0.000260	109503.48	5.381007	5.381007

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละตำแหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
RHMKHAMHAENG	9.875000	9.875000	100.6250	10.189873	0.999809	0.000191	53722.27	3.629883	3.629883
RASBURANA	14.833333	14.833333	40.3333	2.719101	0.999923	0.000077	53614.03	1.610031	1.610031
SAPANDAM	2.588235	2.933333	13.8235	5.340909	0.999974	0.000026	13429.82	0.427021	0.483957
SOUTH BANGKOK	8.000000	8.000000	48.7500	6.093750	0.999907	0.000093	19103.43	2.581545	2.581545
SILOM	5.166667	5.166667	50.0000	9.677419	0.999905	0.000095	45255.53	2.038538	2.038538
SAILOM	17.750000	17.750000	87.4167	4.924883	0.999834	0.000166	65136.65	2.934083	2.934083
SAMSEN	8.833333	8.833333	48.3333	5.471698	0.999908	0.000092	38414.07	1.730363	1.730363
SAPANMAI	24.000000	24.000000	155.0000	6.458333	0.999705	0.000295	48834.75	6.599290	6.599290
SAMRONG	6.166667	6.166667	77.3333	12.540541	0.999853	0.000147	79779.17	3.593656	3.593656
SANSAB	20.307692	20.307692	132.0769	6.503788	0.999749	0.000251	121001.30	5.031239	5.031239
SIPRAYA	10.800000	10.800000	61.2000	5.666667	0.999884	0.000116	47946.15	2.591684	2.591684
THONBURI	13.833333	13.833333	118.5000	8.566265	0.999775	0.000225	103729.04	4.672479	4.672479
TONGKUNG	3.545455	3.545455	68.1818	19.230769	0.999870	0.000130	53992.53	2.653196	2.653196

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละตำแหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
TAKSIN	19.750000	19.750000	128.0833	6.485232	0.999756	0.000244	137333.50	6.186194	6.186194
THANONTOK	4.500000	4.500000	67.5000	15.000000	0.999872	0.000128	9561.05	1.292034	1.292034
WATLIEB	3.000000	3.000000	11.0000	3.666667	0.999979	0.000021	7310.42	0.395158	0.395158
WANGTHONGLANG	0.500000	1.000000	0.0000	0.000000	1.000000	0.000000	0.00	0.000000	0.000000
YOTHI	10.363636	10.363636	57.4545	5.543860	0.999891	0.000109	38778.10	1.905558	1.905558
BANGPING*	20.428571	20.428571	362.7143	17.755245	0.999310	0.000690	195657.53	15.108690	15.108690
BANGPLEE*	43.250000	43.250000	408.2500	9.439306	0.999223	0.000777	625328.18	42.251904	42.251904
BANGSAOTHONG*	39.200000	39.200000	178.2000	4.545918	0.999661	0.000339	91752.43	9.919182	9.919182
BANGPU*	20.000000	20.000000	283.1667	14.158333	0.999461	0.000539	178063.80	16.041784	16.041784
CHALONGKRUNG*	7.200000	12.000000	24.8000	3.444444	0.999953	0.000047	5367.60	0.580281	0.967135
KLANGKRED*	124.00000	124.00000	582.0000	4.693548	0.998893	0.001107	82896.20	44.808756	44.808756
LARDPLAKAO*	17.333333	17.333333	189.6667	10.942308	0.999639	0.000361	71842.21	12.944543	12.944543
MINBURI*	52.333333	52.333333	406.6667	7.770701	0.999226	0.000774	259251.72	23.356011	23.356011

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟทั้งระบบและแต่ละตำแหน่งโหลดในเขตการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

LOAD_NAME	SAIFI	CAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	ACCI
MUANGNAI*	30.000000	30.000000	197.4000	6.580000	0.999624	0.000376	137503.55	14.865249	14.865249
NORTH BANGKOK*	44.250000	44.250000	326.7500	7.384181	0.999378	0.000622	124604.48	16.838443	16.838443
PAKNAM*	23.000000	23.000000	354.6250	15.418478	0.999325	0.000675	478503.80	32.331338	32.331338
PRAKASA*	21.500000	24.571429	201.3750	9.366279	0.999617	0.000383	192290.66	12.992612	14.848699
ROMKLAO*	47.750000	47.750000	487.6250	10.212042	0.999072	0.000928	501445.38	33.881445	33.881445
RAM-INTRA*	51.500000	51.500000	509.7500	9.898058	0.999030	0.000970	488736.06	33.022707	33.022707
TEPARAK*	1.000000	1.333333	0.2500	0.250000	1.000000	0.000000	12.08	0.001633	0.002177

หมายเหตุ ชื่อที่มี * ต่อท้ายหมายถึงสายส่ง 24 kv0

ชื่อที่ไม่มี * ต่อท้ายหมายถึงสายป้อน 12 kv

ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนี N และ T ของระบบจ่ายไฟในเขตนครหลวงในปี พ.ศ. 2533

MONTH	NO. OF INTERRUPTION TIMES	INTERRUPTED TIME (MINUTES)	NUMBER OF FEEDER	N	T
JANUARY	348	2512	584	0.60	4.30
FEBRUARY	545	4079	597	0.91	6.83
MARCH	1044	10499	598	1.75	17.56
APRIL	835	9367	613	1.36	15.28
MAY	1183	8151	620	1.91	13.15
JUNE	870	9351	627	1.39	14.91
JULY	1148	11034	633	1.81	17.43
AUGUST	928	6340	639	1.45	9.92
SEPTEMBER	1142	8389	646	1.77	12.99
OCTOBER	793	8006	653	1.21	12.26
NOVEMBER	616	4573	659	0.93	6.94
DECEMBER	532	3308	668	0.80	5.06
TOTAL	9984	85681	7537	15.89	136.63

โดย N = จำนวนครั้งที่เกิดความบกพร่องต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ

T = ผลรวมของระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า SAIFI และ SAIDI ที่คำนวณได้กับค่า N และ T ของการไฟฟ้านครหลวงในปี พ.ศ. 2533

เดือน	N	T	SAIFI	SAIDI
มกราคม	0.60	4.30	0.609457	4.39929
กุมภาพันธ์	0.91	6.83	0.928450	6.94889
มีนาคม	1.75	17.56	1.766497	17.76481
เมษายน	1.36	15.28	1.391667	15.61167
พฤษภาคม	1.91	13.15	1.948929	13.42834
มิถุนายน	1.39	14.91	1.410049	15.15559
กรกฎาคม	1.81	17.43	1.845659	17.73955
สิงหาคม	1.45	9.92	1.494364	10.20934
กันยายน	1.77	12.99	1.827200	13.42240
ตุลาคม	1.21	12.26	1.252765	12.64771
พฤศจิกายน	0.93	6.94	0.980892	7.28184
ธันวาคม	0.80	5.06	0.832551	5.28951
รวม	15.89	136.63	14.725660	126.3732

จากการสมมติว่าจำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อนเท่ากับจำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมด พิจารณา

SAIFI = System average interruption frequency index

= จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทุกครั้งรวมกัน / จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

$= \Sigma \lambda_i N_i \; / \; \Sigma N_i$

$\lambda_i = 1$ เนื่องจากเป็นเหตุการณ์การบกพร่องที่เกิดขึ้นจริง

$N_i = N_c$ = จำนวนผู้ใช้ไฟต่อสายป้อน

F = จำนวนสายป้อนทั้งหมดในระบบ

จะได้ว่า

SAIFI = $(N_c \times \Sigma\lambda_i) / (N_c \times F)$

= $\Sigma\lambda_i / F$

= จำนวนครั้งที่เกิดความบกพร่องต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีการใช้งานจริงในระบบ

SAIDI = System average interruption duration index

= (ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ x ระยะเวลาในการได้รับผลกระทบในแต่ละครั้ง) / จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

= $\Sigma U_i N_i / \Sigma N_i$

จะได้ว่า

SAIDI = $(N_c \times \Sigma U_i) / (N_c \times F)$

= $\Sigma U_i / F$

= ผลรวมของระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีการใช้งานจริงในระบบ

จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณดังตารางที่ 4.5 SAIFI กับ N และ SAIDI กับ T มีค่าต่างกันเล็กน้อย เนื่องมาจากการประเมินค่า N และ T นั้นใช้จำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีในระบบจ่ายไฟ แต่การประเมินในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นใช้เฉพาะสายป้อนที่มีการใช้งานจริงในระบบในระยะเวลาที่ทำการประเมิน เนื่องจากต้องนำปริมาณโหลดที่ใช้ในแต่ละสายป้อนมาคิดเพื่อหาค่าดัชนีตัวอื่น ส่วนการประเมินค่าความเชื่อถือได้รายปี จากตารางที่ 4.5 ค่า N และ T เท่ากับ 15.89 และ 136.63 ตามลำดับ เทียบกับ ค่า SAIFI = 14.73 และ SAIDI = 126.37 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่างกันมากขึ้น เนื่องจากค่า N และ T นั้นนำผลของดัชนีในแต่ละเดือนมารวมกันเป็นดัชนีรายปี ส่วน SAIFI และ SAIDI นำเหตุการณ์และระยะเวลาที่เกิดความบกพร่องต่อจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีการใช้งานในปีนั้นมาคำนวณ

พิจารณาตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าในไตรมาสที่ 3 มีค่า SAIFI และ

CAIFI สูงที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน จึงมีความขัดข้องบ่อยครั้งขึ้น ส่วนไตรมาสที่ 2 มีค่า SAIFI และ CAIFI รองลงมา แต่มีค่า ENS สูงที่สุดโดยเฉพาะในเดือนเมษายน เนื่องจากในช่วงนี้เป็นฤดูร้อนจึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

จากตารางที่ 4.3 เรานำมาพิจารณาในแต่ละตำแหน่งโหลดที่มีค่าดัชนีในแต่ละตัวมากที่สุด 5 อันดับแรกและนำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

LOAD NAME	SAIFI	CAIFI
KLANGKRED*	124.000000	124.000000
MINBURI*	52.333333	52.333333
RAM-INTRA*	51.500000	51.500000
ROMKLAO*	47.750000	47.750000
NORTH BANGKOK*	44.250000	44.250000

ดัชนี SAIFI นี้แสดงถึงความมั่นคงของระบบได้เป็นอย่างดีเพราะเป็นมาตรฐานแสดงความถี่ของการเกิดความบกพร่องขึ้นในระบบ ส่วนค่า CAIFI นั้นแสดงถึงการกระจายการเกิดความบกพร่องที่มีผลต่อกลุ่มผู้ใช้ไฟ ในที่นี้ CAIFI เท่ากับ SAIFI แสดงว่าผู้ใช้ไฟทุกรายได้รับผลกระทบจากการเกิดความบกพร่องในระยะเวลาที่ทำการประเมินนี้ จากการประเมินจะได้ว่าจุดโหลด KLANGKRED ควรได้รับการพิจารณาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างเร่งด่วนเนื่องจากมีค่า SAIFI สูงมาก

LOAD NAME	SAIDI
KLANGKRED*	582.0000
RAM-INTRA*	509.7500
ROMKLAO*	487.6250
BANGPLEE*	408.2500
MINBURI*	406.6667

SAIDI เป็นดัชนีแสดงระยะเวลาเฉลี่ยที่ผู้ใช้ไฟไม่มีไฟฟ้าใช้ ในที่นี้เป็นนาทีต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปรสองอย่างคือจำนวนครั้งและความรุนแรงของการเกิดความบกพร่องนั้น

LOAD NAME	CAIDI
MAHAISAWAN	23.453125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BANGPLAKOD	22.310340
TONGKUNG	19.230769
BANGPING*	17.755245
BANGBON	15.636750

CAIDI ดัชนีตัวนี้แสดงถึงความรุนแรงของการเกิดความบกพร่องในระบบได้ เนื่องจากเป็นระยะเวลาเฉลี่ยในแต่ละครั้งที่เกิดความบกพร่อง นอกจากนี้อาจชี้ถึงความอ่อนไหวของจุดโหลดที่เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดความบกพร่องอีกด้วย

LOAD NAME	ASAI
TEPARAK	1.000000
WANGTHONGLANG	1.000000
TEPARAK*	1.000000
WATLIEB	0.999979
SAPANDAM	0.999974

ASAI เป็นความน่าจะเป็นของการที่ผู้ใช้ไฟรู้สึกว่ามีไฟฟ้าใช้ จะเห็นได้ว่า 3 อันดับแรกไม่มีการบกพร่องเกิดขึ้นเลย

LOAD NAME	ASUI
KLANGKRED*	0.001107
RAM-INTRA*	0.000970
ROMKLAO*	0.000928
BANGPLEE*	0.000777
MINBURI*	0.000774

ASUI เป็นความน่าจะเป็นของการที่ผู้ใช้ไฟรู้สึกว่าไม่มีไฟฟ้าใช้ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า SAIDI จะเห็นว่าชื่อจุดโหลดเป็นอันดับเดียวกัน เนื่องจาก ASUI เป็นผลของระยะเวลาที่ไม่มีไฟใช้ต่อระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประเมิน

LOAD NAME	ENS
BANGBON	630963.68
BANGPLEE*	625328.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ROMKLAO*	501445.38
RAM-INTRA*	488736.06
PAKNAM*	478503.80

ENS แสดงถึงความสูญเสียของค่าใช้จ่ายในรูปของพลังงานไฟฟ้า ในที่นี้เป็น kW-Hr ซึ่งจะเป็นดัชนีที่ช่วยในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจปรับปรุงประสิทธิภาพของจุดโหลดในกลุ่มนี้เมื่อคำนึงถึงต้นทุนของการดำเนินงาน

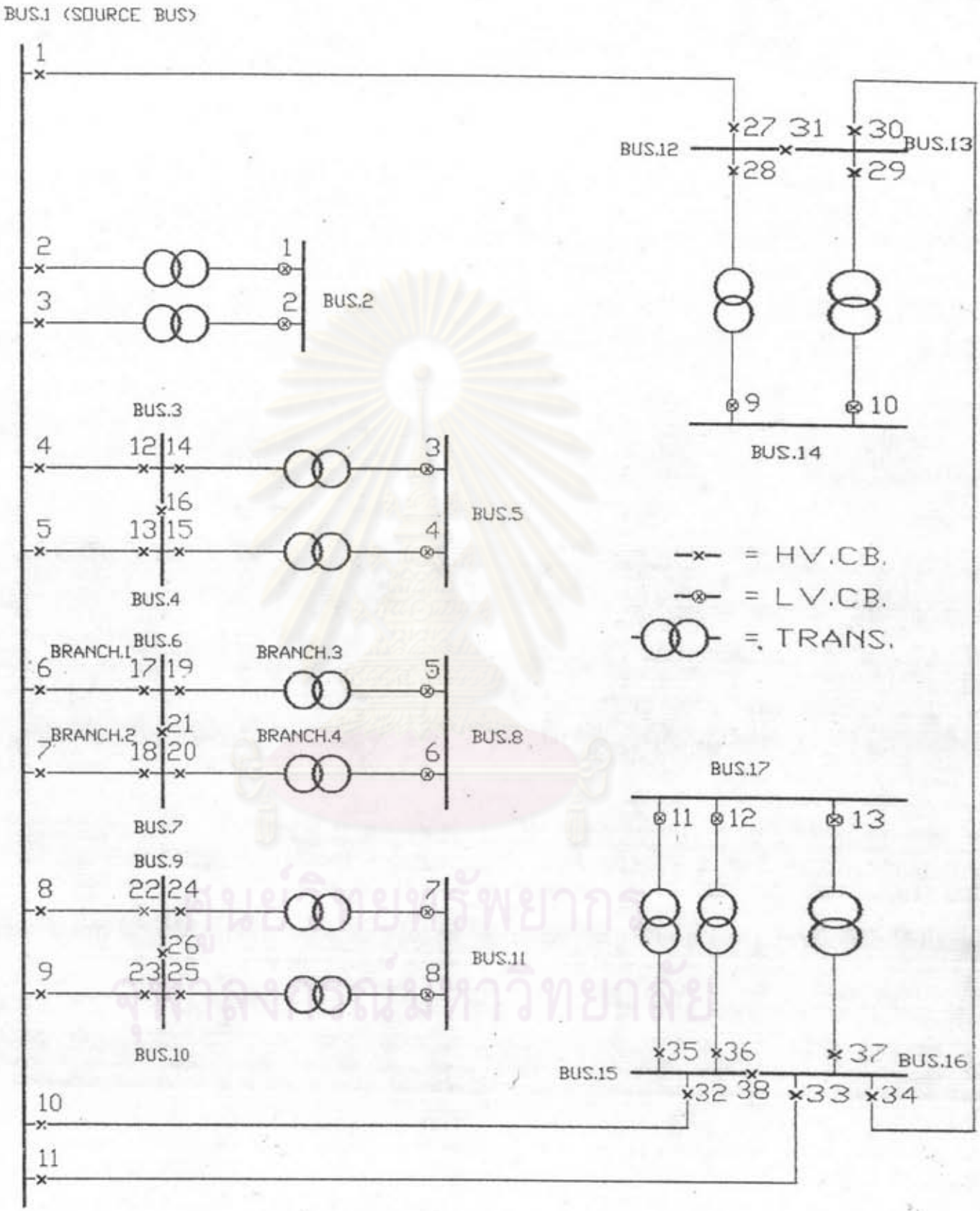
LOAD NAME	AENS	ACCI
KLANGKRED*	44.808756	44.808756
BANGPLEE*	42.251904	42.251904
ROMKLAO*	33.881445	33.881445
RAM-INTRA*	33.022707	33.022707
PAKNAM*	32.331338	32.331338

AENS เป็นค่า ENS ต่อจำนวนผู้ใช้ไฟ 1 ราย ส่วน ACCI แสดงถึงการกระจายของค่า ENS ต่อผู้ใช้ไฟรายที่ได้รับผลกระทบ ในที่นี้เท่ากับ AENS แสดงว่าผู้ใช้ไฟทุกรายได้รับผลกระทบในระยะเวลาที่ทำการประเมิน

จากการประเมินพบว่าจุดโหลดที่มีค่าดัชนีในแต่ละประเภทสูง 5 อันดับแรก มักจะเป็นจุดโหลดเดิม ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี แต่ในความเป็นจริงหากเราได้ทำการรวบรวมข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละจุดโหลด อันดับของจุดโหลดในดัชนีบางประเภทอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้ความถูกต้องในการคำนวณสูงขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและการตัดสินใจในการปรับปรุงระบบจ่ายไฟให้มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมกับการลงทุน

4.2 การทำนายค่าความเชื่อถือในระบบจ่ายไฟ

รูปที่ 4.1 เป็นระบบจ่ายไฟ 33/11 kV. ที่จำลองขึ้นเพื่อศึกษาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อค่าความเชื่อถือได้ของระบบ



รูปที่ 4.1 ระบบจ่ายไฟ 33/11 kV.

4.2.1 การดำเนินการสร้างแฟ้มข้อมูล ในส่วนของการทำนายค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟนี้ ต้องประกอบไปด้วยแฟ้มข้อมูล 3 ประเภท ดังนี้

1. แฟ้มข้อมูลแสดงเหตุการณ์ต่างๆ พิจารณาแฟ้มข้อมูลชื่อ F33_11KV.DBF ดังแสดงในตารางที่ ค.1 ในภาคผนวก ค. ซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บรวบรวมเหตุการณ์ต่างๆที่มีโอกาสเกิดขึ้นอันจะทำให้ความสามารถในการจ่ายไฟไปยังจุดโหลดที่กำลังพิจารณานั้นล้มเหลว ดังมีรายละเอียดดังนี้

จุดโหลด 2 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 1 ถึง 18

จุดโหลด 5 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 19 ถึง 84

จุดโหลด 8 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 85 ถึง 182 ซึ่งมีข้อมูลเหมือนกับจุดโหลด 5 ทุกประการ แต่ทำการบำรุงรักษาแบบสัมพันธ์ (coordinated maintenance) อันได้แก่ BRANCH.1 ถึง BRANCH.4 ดังเช่น เมื่อการบำรุงรักษากระทำที่ BRANCH.1 หมายถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าตั้งแต่ HV.CB.6 , LINE1_6 และ HV.CB.17 จะได้รับการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่กำหนดเดียวกัน ในการประเมินค่าความเชื่อถือของระบบนี้ จุดโหลดอื่นๆใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบไม่สัมพันธ์ (uncoordinated maintenance)

จุดโหลด 11 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 183 ถึง 332 ซึ่งมีข้อมูลเหมือนกับจุดโหลด 5 ทุกประการ แต่ในจุดโหลดนี้คิดรวมกรณีของการเกิดความขัดข้องแบบแอคทีฟและสตัคเบรกเกอร์ด้วย ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มชื่อเหตุการณ์ที่เป็นแอคทีฟและสตัคเบรกเกอร์เข้าไปในแฟ้มข้อมูล ดังเช่น HV.CB.1A หมายถึง HV.CB.1 กรณีแอคทีฟ และ HCB.12A+HCB.4S หมายถึง HV.CB.12 กรณีแอคทีฟและ HV.CB.4 เกิดความขัดข้องในการเปิดวงจร (Stuck breaker)

เหตุการณ์แพสซีฟ หมายถึงการที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆในระบบเมื่อเกิดการบกพร่องขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันและการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าชุดอื่นๆ การซ่อมบำรุงกระทำโดยการเปลี่ยนหรือซ่อมอุปกรณ์ชิ้นนั้น

เหตุการณ์แอคทีฟ หมายถึงการที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆในระบบเมื่อเกิดการบกพร่องขึ้นและทำให้เขตป้องกันชั้นต้นรอบๆอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นทำงาน ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอื่นๆที่ยังอยู่ในสภาพใช้งานได้ต้องหยุดการทำงานลง และภายหลังจากที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดการบกพร่องถูกนำแยกออกจากวงจรไฟฟ้าแล้ว เซอร์กิตเบรกเกอร์จะปิดวงจรอีกครั้งเพื่อทำให้ระบบดำเนินต่อไป

เหตุการณ์สตัคเบรกเกอร์ หมายถึงการที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตอบสนองต่อ

ความบกพร่องอันเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มันทำหน้าที่ป้องกันอยู่

เนื่องจากในทุกๆกรณีของการเกิดเหตุการณ์แบบแพสซีฟ จะมีเหตุการณ์แบบแอคทีฟรวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นเหตุการณ์ในแฟ้มข้อมูล F33_11KV.DBF นี้ ชื่อเหตุการณ์ที่ไม่มีอักษร "A" ต่อท้ายหมายถึงกรณีแพสซีฟ ที่มีผลของแอคทีฟรวมอยู่ด้วย

จุดโหลด 14 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 333 ถึง 510

จุดโหลด 17 ได้แก่ข้อมูลลำดับที่ 511 ถึง 720

2. แฟ้มข้อมูลแสดงค่าความเชื่อถือของอุปกรณ์ไฟฟ้า พิจารณาแฟ้มข้อมูล R33_11KV.DBF ดังแสดงในตารางที่ ค.2 ในภาคผนวก ค. ซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลแสดงค่าอัตราความขัดข้องและช่วงเวลาขัดข้องโดยเหตุชนิดต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในแฟ้มข้อมูล F33_11KV.DBF ค่าต่างๆในแฟ้มข้อมูลนี้ถูกกำหนดขึ้นมาอย่างเหมาะสมโดยนำข้อมูลจากบทความอ้างอิงเรื่อง Modelling and evaluating the reliability of distribution systems (Allan et al.,1979) ดังมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1) กำหนด λ_p ของสายส่ง = 0.025 f/yr/km และความยาวของสายส่งในแต่ละส่วนดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงความยาวและอัตราความขัดข้องโดยเหตุบังคับถาวรของสายส่งในระบบจ่ายไฟดังรูปที่ 4.1

สายส่ง	ความยาว	λ_p
LINE1_2	2.50	0.0625
LINE1_3	1.96	0.0490
LINE1_4	1.96	0.0490
LINE1_6	1.96	0.0490
LINE1_7	1.96	0.0490
LINE1_9	1.96	0.0490

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงความยาวและอัตราความขัดข้องโดยเหตุบังคับถาวรของสายส่งในระบบจ่ายไฟดังรูปที่ 4.1

สายส่ง	ความยาว	λ_p
LINE1_10	1.96	0.0490
LINE1_12	6.04	0.1510
LINE1_15	4.64	0.1160
LINE1_16	4.64	0.1160
LINE3_5	0.50	0.0125
LINE4_5	0.50	0.0125
LINE6_8	0.50	0.0125
LINE7_8	0.50	0.0125
LINE9_11	0.50	0.0125
LINE10_11	0.50	0.0125
LINE12_14	2.00	0.0500
LINE13_14	2.00	0.0500
LINE13_16	4.52	0.1130
LINE15_17	2.00	0.0500
LINE16_17	2.00	0.0500

2) พิจารณาจุดโหลด 8 ซึ่งเป็นจุดโหลดที่ทำการบำรุงรักษาแบบสัมพันธ์ ดังนั้นต้องกำหนดค่า λ_p, r_p, λ_s และ r_s ของ BRANCH.1 ถึง BRANCH.4 = 0 และต้องกำหนดให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใน BRANCH ต่างๆนั้นมีค่า λ_m และ r_m = 0 เช่น HV.CB.6, HV.CB.7 เป็นต้น มิฉะนั้นจะทำให้การคำนวณรวมผลของการบำรุงรักษาแบบไม่สัมพันธ์เข้าไว้ด้วย

3) กำหนดให้ λ_p ของสายส่งกรณีเกิดแอคทีฟมีค่าเท่ากับ λ_p ของสายส่ง และ λ_p ของ BUS.9 และ BUS.10 กรณีเกิดแอคทีฟ มีค่าเท่ากับ λ_p ของ BUS.9 และ BUS.10 ค่า

ความขัดข้องของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอื่นๆในกรณีแอคทีฟนอกจากนี้ปรากฏดังในแฟ้มข้อมูล

4) P_c = ความน่าจะเป็นที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เปิดวงจรเมื่อเกิดความขัดข้องขึ้นในระบบจ่ายไฟ (Stuck-breaker probability)

= จำนวนครั้งที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เปิดวงจรเมื่อเกิดความขัดข้องขึ้นในระบบ / จำนวนครั้งที่เกิดความขัดข้องขึ้นในระบบ

ในที่นี้กำหนดให้ P_c = 0.06 ดังนั้นพิจารณาข้อมูลลำดับที่ 115 ในแฟ้มข้อมูล R33_11KV.DBF จะได้ว่า

λ_p ของ BUS.9A+HCB.26S = (λ_p ของ BUS.9A) x P_c

= 0.005 x 0.06

= 0.0003

ข้อมูลในลำดับที่ 116 ถึง 154 สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน

3. แฟ้มข้อมูล ณ จุดโหลด แฟ้มข้อมูล L33_11KV.DBF นี้ สมมุติขึ้นจากปริมาณโหลดต่อจำนวนผู้ใช้ไฟมีค่าประมาณ 2 kW ต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย ดังแสดงในตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค.

4.2.2 ผลการคำนวณค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟ

จากการดำเนินงานดังในหัวข้อ 4.2.1 เมื่อนำมาคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟ 33/11 kV. ดังรูปที่ 4.1

LOAD_NAME	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS
LOAD.2	0.044962	0.094281	2.096923	0.999989	0.000011	1074.81	0.206694
LOAD.5	0.053186	0.072455	1.362294	0.999992	0.000008	869.46	0.159534
LOAD.8	0.042563	0.069460	1.631932	0.999992	0.000008	833.52	0.152939
LOAD.11	0.415348	0.434529	1.046182	0.999950	0.000050	5214.35	0.956762
LOAD.14	0.080779	0.183246	2.268477	0.999979	0.000021	952.88	0.414294
LOAD.17	0.009514	0.036557	3.842640	0.999996	0.000004	658.03	0.080247
SYSTEM	0.102436	0.135823	1.325924	0.999984	0.000016	9603.04	0.299627

พิจารณาจุดโหลด 5 8 และ 11 ซึ่งมีระบบเหมือนกันทุกประการ แต่ต่างกันที่การบำรุงรักษาและการคิดผลของการเกิดแอคทีฟและสตัดเบรกเกอร์ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 จะเห็นได้เมื่อทำการบำรุงรักษาแบบสัมพันธ์ดังจุดโหลด 8 จะทำให้ค่า SAIFI ลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับจุดโหลด 5 ซึ่งทำการบำรุงรักษาแบบไม่สัมพันธ์ ในขณะที่ไม่มีผลต่อระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟไม่ได้รับพลังงานมากนัก ทั้งนี้หากเราพิจารณาค่าอัตราความขัดข้องและช่วงขัดข้องของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวในส่วนที่ได้รับการบำรุงรักษาแบบสัมพันธ์ ตัวอย่างเช่น HV.CB.6 มีค่า $\lambda_m/\lambda_p = 50$ ส่วน $r_m/r_p = 0.11$ ซึ่งแสดงว่าการบำรุงรักษาไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตามจะมีผลต่อค่าอัตราความขัดข้องของระบบมากกว่าช่วงขัดข้องของระบบ ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการคำนวณที่ได้ (ค่า λ_m และ r_m ของ HV.CB.6 ได้จากข้อมูลของ BRANCH.1)

ส่วนกรณีของจุดโหลด 11 ซึ่งคิดผลของการเกิดแอคทีฟและสตัดเบรกเกอร์ จะเห็นได้ว่ามีผลต่อค่าดัชนีเป็นอย่างมาก ทั้งจำนวนครั้งของการเกิดความล้มเหลวของการจ่ายไฟและระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้า

พิจารณาจุดโหลด 2 5 14 และ 17 จะเห็นได้ว่าจุดโหลด 17 มีค่าความเชื่อถือในระดับดีที่สุดทั้งค่า SAIFI และ SAIDI เนื่องจากจุดโหลดนี้มีสายส่งถึง 3 สายส่งต่อขนานกันอยู่ จากผลการคำนวณค่า CAIDI ที่ได้ในจุดโหลดนี้ อาจจะทำให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าดัชนี เนื่องจากค่า CAIDI ที่คำนวณได้ ณ จุดโหลดนี้มีค่าสูง ซึ่งแสดงถึงความรุนแรงหรือระยะเวลาที่การจ่ายพลังงานไฟฟ้าล้มเหลวต่อการเกิดความบกพร่องในแต่ละครั้ง แต่ในความเป็นจริงเหตุที่ CAIDI ณ จุดโหลดนี้มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากมีค่า SAIFI ที่ต่ำมากนั่นเอง ซึ่งเป็นการยืนยันว่าค่าดัชนีเพียงตัวหนึ่งตัวใดย่อมไม่เป็นการเพียงพอ ที่จะทำให้เข้าใจระบบได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

กรณีจุดโหลด 14 มีค่า SAIFI และ SAIDI สูงที่สุดในกลุ่มนี้ เนื่องจากสายส่งจาก BUS.1 ถึง BUS.12 และ BUS.13 มีระยะทางไกล ประกอบกับในส่วนของสายส่งก่อนถึง HV.CB.30 มีโอกาสที่จะเกิดความขัดข้องมากกว่าสายส่งในจุดโหลดอื่นๆ เนื่องจากต้องผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากกว่านั่นเอง

กรณีจุดโหลด 2 เมื่อเทียบกับจุดโหลด 5 เป็นกรณีที่น่าสนใจเนื่องจากกรณีหนึ่งมีค่า SAIFI ต่ำกว่า และอีกกรณีหนึ่งมีค่า SAIDI ต่ำกว่า จึงสรุปได้ว่าถึงแม้จุดโหลด 2 จะมีความถี่ในการเกิดความบกพร่องต่ำกว่าจุดโหลด 5 แต่ความรุนแรงหรือระยะเวลาที่เกิดความบกพร่อง

ขึ้นในแต่ละครั้งจะสูงกว่าจุดโหลด 5 แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ต่างกันนั้นเป็นค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้ระบบจ่ายไฟในรูปแบบใดจึงต้องมีปัจจัยอื่นๆเป็นตัวกำหนดด้วย ทั้งนี้เราสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในรูปของการสูญเสียพลังงานโดยพิจารณาจากค่า ENS เทียบกับการลงทุนในการสร้างระบบจ่ายไฟได้

4.2.3 การทำนายค่าความเชื่อถือระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวง

ระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวงมีแบบจำลองที่แตกต่างไปจากระบบจ่ายไฟดังในรูปที่ 4.1 ข้างต้น ในหัวข้อนี้จึงเป็นการประเมินค่าความเชื่อถือของระบบจ่ายไฟในแบบจำลองของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อนำเปรียบเทียบกัน โดยใช้แบบจำลองระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวงแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ สมมติว่ามีค่าอัตราความขัดข้องและช่วงขัดข้องโดยเหตุชนิดต่างๆเหมือนกับแบบจำลองรูปที่ 4.1 โดยนำข้อมูลจากบทความอ้างอิงเรื่อง Modelling and evaluating the reliability of distribution systems (Allan et al.,1979) และมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

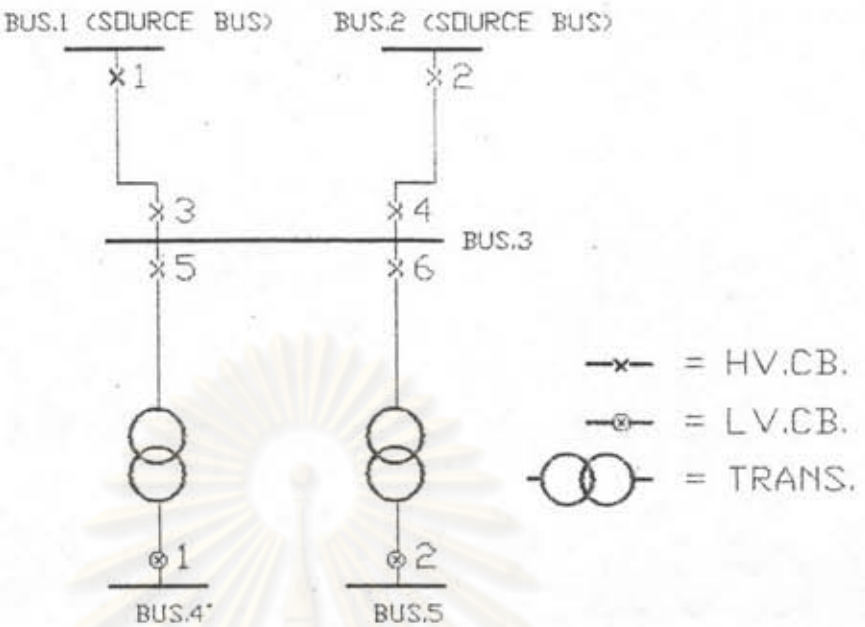
1. กำหนด λ_p ของสายส่ง = 0.025 f/yr/km และความยาวของสายส่งในแต่ละส่วนดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงความยาวและอัตราความขัดข้องโดยเหตุบังคับถาวรของสายส่งในระบบจ่ายไฟดังรูปที่ 4.2

สายส่ง	ความยาว	λ_p
LINE1_3 , LINE2_3	2.50	0.0625
LINE3_4 , LINE3_5	1.96	0.0490

2. สมมุติว่าปริมาณโหลดต่อจำนวนผู้ใช้ไฟมีค่าประมาณ 2 kW ต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย

3. แฟ้มข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ได้จากการพิจารณาอย่างเหมาะสมดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ ค.4 ถึง ค.6 ในภาคผนวก ค. และจากการดำเนินงานเพื่อหาค่าดัชนีจะได้ดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.2 แบบจำลองระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวง

ตารางที่ 4.9 ดัชนีแสดงค่าความเชื่อถือได้ของระบบจ่ายไฟโดยใช้แบบจำลองระบบของการไฟฟ้านครหลวง

LOAD_NAME	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS
LOAD.4	5.064928	11.12383	2.196246	0.998730	0.001270	126811.66	24.38686
LOAD.5	5.064928	11.12383	2.196246	0.998730	0.001270	133485.95	24.49284
SYSTEM	5.064928	11.12383	2.196246	0.998730	0.001270	260297.61	24.44109

พิจารณาตารางที่ 4.9 เทียบกับตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าดัชนีในตารางที่ 4.9 มีค่าสูงมาก เนื่องจากระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวงเป็นระบบจ่ายไฟในแนวรัศมี จึงทำให้มีอัตราความเสี่ยงสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงนั้น ระบบจ่ายไฟโดยทั่วไปจะมีเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่โดยปรกติจะเปิดวงจรอยู่ เมื่อมีเหตุการณ์ขัดข้องก็จะปิดวงจรเพื่อถ่ายโอนโหลด ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียก็จะมีค่าลดลง

หมายเหตุ หน่วยของค่าดัชนีได้แก่ SAIFI (interruptions/customer yr) SAIDI (hours/customer yr) CAIDI (hours/customer interruption) ENS (kWh/yr) และ AENS (kWh/customer yr)