

大規模電力系統故障時における電源制限のための 過渡安定度シミュレーション

Simulations of Transient Stability for Generator Shedding at Fault Occurrence in Large-scale Power System Based on Energy Function

山田 浩[†], 藤田淳也[†], 雪田和人[†], 後藤泰之[†], 一柳勝宏[†], 田端康人^{††}, 小川重明^{††}
Hiroshi YAMADA, Junya FUJITA, Kazuto YUKITA, Yasuyuki GOTO, Katsuhiko ICHIYANAGI,
Yasuhito TABATA, Shigeaki OGAWA

Abstract In recent years, complication of power system is progressing. Under such a situation, measures for high-speed stabilization are needed in order to prevent beforehand that the influence of the fault spreads for the whole system. If the fault occurs in power system, improvement in transient stability is expected by carrying out of generator shedding, i.e. some generators are separated temporarily. In this paper, the estimation system of transient stability is built by artificial neural network applicable at the fault occurrence of N-swing step out and is confirmed its effectiveness.

1. まえがき

近年の電力系統の大規模化、複雑化に伴い、系統故障時における適切な安定化対策が重要となっている。この安定化対策のひとつに、発電機の一部を一時的に解列する電源制限という手法が検討されている^{(1)~(3)}。また、故障発生と同時に系統の安定判別を実施することも合わせて重要な課題となっている。特に、数周期動揺後の脱調現象(N波脱調)を精度良く推定することは、非常に困難と考えられる。先に筆者らは、負荷脱落事故時における電源制限の計算機シミュレーションを実施し、電気学会標準モデル系統を用いて安定度向上効果を確認した。また、ニューラルネットワークで構築した過渡安定度推定システムを提案し、その有効性を確認した⁽⁴⁾。本報告では、提案する安定度推定システムについてN波脱調を伴う故障に対して適用し、故障除去と同時に系統の安定判別を実施することを試みた。その結果、良好な推定結果が得られ、提案する安定度推定システムが1波、N波脱調を問わず有効であることを確認した。また、電源制限を想定した場合において、対象発電機解列後における安定度推定を実施し、N波脱調故障時においても電源制限効果の有無を比較的精度良く推定可能であることが確認できたので報告する。

2. N波脱調を含む安定度領域

図1に示すIEEE10機39母線系統を対象として、図中F点(ノード10-38間)における1回線3相地絡故障を想定した。

発電機出力および負荷の標準値を表1に示す。N波脱調を伴う故障の例として、全系負荷標準値の110%(53.2p.u.)、故障継続時間0.6secとした場合の位相動揺曲線を図2に示す。同図では、故障点に比較的近い発電機のうちG8およびG10が大きく動揺し、故障発生後約7.5secにG8のみ脱調している。

全系負荷を80%~170%、故障継続時間を50ms刻みで変化させ、運動エネルギー E_k および位置エネルギー E_p をそれぞれ算出した⁽⁴⁾。ここでエネルギー関数 E_k 、 E_p を算出する際、1機無限大母線系統に縮約している。故障除去時のエネルギー関数値 E_{ksw} および E_{psw} で与えられた安定度シミュレーション結果を図3に示す。

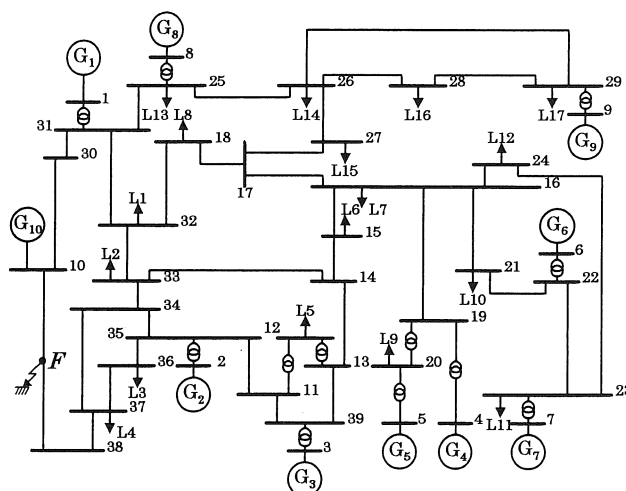


図1 IEEE 10機39母線系統モデル
Fig1. IEEE 10-machine 39-bus model system

[†] 愛知工業大学 工学部 電気工学科 (豊田市)
^{††} 中部電力(株) 電力技術研究所 (名古屋市)

表 1 発電機出力および負荷

Table 1. Generator power and loads

Generator	P [p.u.]	Load	P [p.u.]	Q [p.u.]
G1	0.00	L1	3.17	0.002
G2	6.33	L2	3.92	0.811
G3	5.60	L3	2.68	0.826
G4	6.62	L4	3.13	1.300
G5	6.48	L5	2.07	1.866
G6	4.98	L6	3.15	1.505
G7	6.48	L7	3.24	0.318
G8	5.62	L8	1.55	0.495
G9	5.08	L9	4.68	1.013
G10	2.60	L10	3.17	0.002
total	49.8	L11	3.90	0.832
		L12	4.05	0.907
		L13	3.20	0.464
		L14	1.68	0.167
		L15	1.51	0.318
		L16	1.53	1.471
		L17	1.79	1.564
		total	48.4	13.9

1,000MVA Base

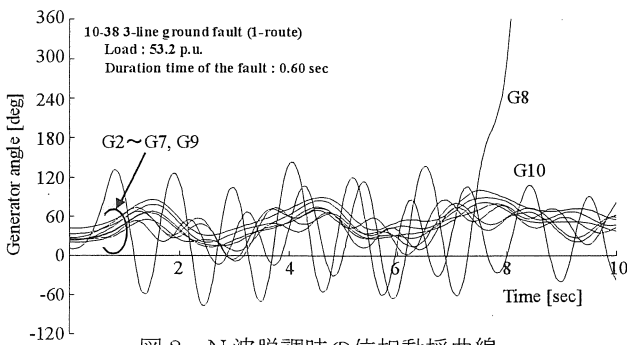


図 2 N 波脱調時の位相動揺曲線
Fig2. Swing curve at the stepping out after N-swing

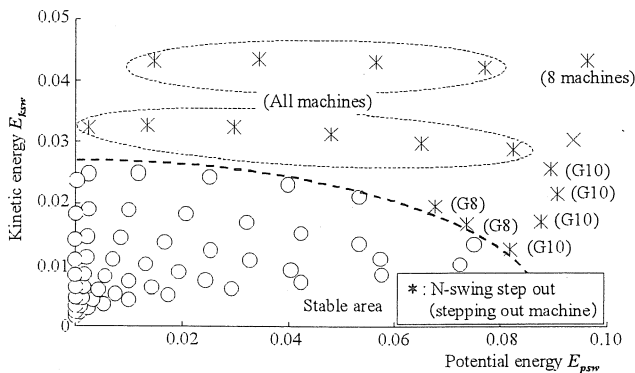


図 3 過渡安定度シミュレーション結果
Fig3. Simulation results of transient stability

同図において、故障除去により系統が安定化する場合を○印、故障除去後 N 波脱調する場合を*印、1 波脱調する場合を×印で示す。N 波脱調する場合(*印)においては、そのケースで脱調した発電機を合わせて示す。ここでは、縮約前の 10 機系統における各発電機の位相動揺曲線の収束状況から安定および不安定の判別を行っている。図 3 よ

り、種々の負荷状態および故障継続時間に対して一定の安定領域が E_{ksw} および E_{psw} で与えられると言える。

3. N 波脱調を含む安定度推定

故障除去と同時に、その時点で系統の安定判別を可能にすることを目的として、過渡安定度推定システムを図 4 のように構築した⁽⁴⁾。この推定システムは、3 層の階層型ニューラルネットワークとした。同図に示すように、入力層は故障除去時点における運動エネルギー E_{ksw} 、位置エネルギー E_{psw} の値、出力層は安定度の推定値 (安定: 0, 不安定: 1) を対応させた。ここで、図 3 における○印を安定、*印 (N 波脱調) および×印 (1 波脱調) を不安定とした。また、中間層は 1 層とし、そのユニット数を 5 ユニット以上に増やしても学習誤差は小さくならなかった。そこで、中間層は 5 ユニットとしている。表 2 に学習に用いたデータを、表 3 に推定データをまとめた。

図 5 に安定度推定結果を示す。同図において、() 内の数値は安定度推定値を示している。故障除去後の系統が不安定な場合の推定例は、図 2 に示した例のようにすべて N 波脱調するケースであり、ほぼ 1 に近い値を出力している。よって、非常に良好な推定結果であると言える。また、故障除去後の系統が安定な場合においては、23 例中 22 例において成功しており良好な推定結果であるが、不安定領域との境界付近において推定に失敗した例が見られた (図中に下線付きで示す)。

以上の結果から、図 4 に示す過渡安定度推定システムを適用した場合、故障除去と同時に系統の安定判別が可能であり、N 波脱調を伴う故障に対しても適用可能であると言える。

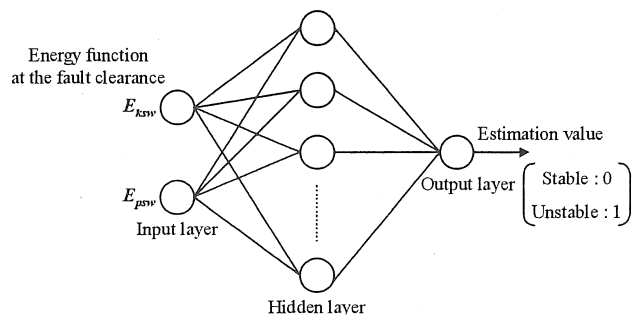


図 4 過渡安定度推定システム
Fig4. Estimation system of transient stability

表 2 学習用データ
Table 2. Training data

ケース	故障条件		Epsw	Eksw	教師値
	負荷	故障継続時間			
1	80%	0.65s	0.042	0.007	0
2		0.70s	0.058	0.008	0
3		0.75s	0.072	0.010	0
4		0.80s	0.082	0.013	1
5	100%	0.50s	0.019	0.009	0
6		0.55s	0.033	0.011	0
7		0.60s	0.053	0.014	0
8		0.65s	0.074	0.017	1
9		0.70s	0.091	0.022	1
10		0.75s	0.094	0.030	1
11	120%	0.45s	0.017	0.014	0
12		0.50s	0.032	0.017	0
13		0.55s	0.053	0.021	0
14		0.60s	0.082	0.029	1
15	140%	0.35s	0.002	0.015	0
16		0.40s	0.010	0.019	0
17		0.45s	0.025	0.024	0
18		0.50s	0.048	0.031	1
19	160%	0.55s	0.077	0.042	1
20		0.30s	0.000	0.018	0
21		0.35s	0.003	0.025	0
22		0.40s	0.013	0.033	1
23	170%	0.45s	0.000	0.024	1
24		0.30s	0.034	0.043	0
25		0.35s	0.002	0.032	1
26		0.40s	0.015	0.043	1

全学習サンプル数 (41)

表 3 推定用データ
Table 3. Estimation data

ケース	故障条件		Epsw	Eksw	推定値	教師値
	負荷	故障時間				
1	90%	0.60s	0.040	0.009	0.000	0
2		0.65s	0.057	0.011	0.000	0
3		0.70s	0.075	0.013	0.663*	0
4		0.75s	0.088	0.017	0.999	1
5	110%	0.45s	0.013	0.010	0.000	0
6		0.50s	0.025	0.012	0.000	0
7		0.55s	0.042	0.015	0.000	0
8	130%	0.60s	0.068	0.020	0.906	1
9		0.65s	0.089	0.026	1.000	1
10		0.40s	0.009	0.014	0.000	0
11	150%	0.45s	0.021	0.018	0.000	0
12		0.50s	0.040	0.023	0.014	0
13		0.55s	0.065	0.030	1.000	1
14	170%	0.60s	0.096	0.043	1.000	1
15		0.30s	0.000	0.014	0.000	0
16		0.35s	0.003	0.019	0.000	0
17	190%	0.40s	0.012	0.025	0.000	0
18		0.45s	0.030	0.032	0.998	1
19		0.50s	0.057	0.043	1.000	1

推定成功数 / 全推定サンプル数(30) 29/30 (96.7%)

*: 推定に失敗した例

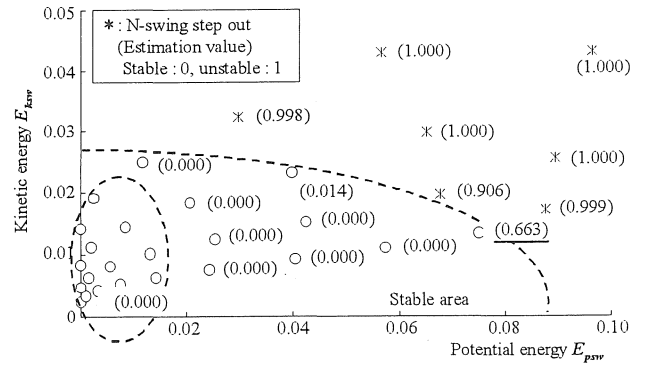


図 5 過渡安定度推定結果

Fig5. Estimation results of transient stability

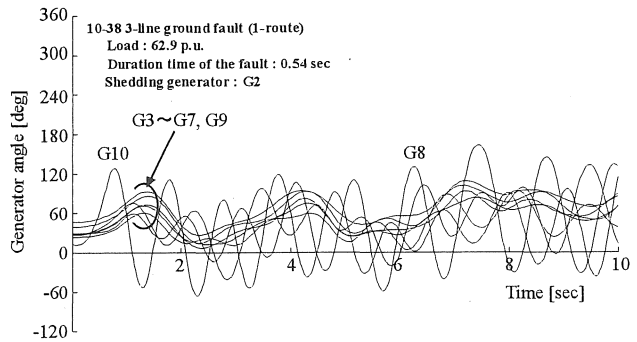


図 6 位相動揺曲線 (G2 解列時)

Fig6. Swing curve (at G2 shedding)

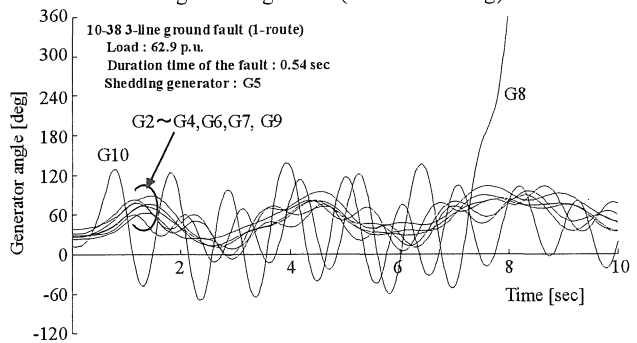


図 7 位相動揺曲線 (G5 解列時)

Fig7. Swing curve (at G5 shedding)

4. N波脱調故障時における電源制限シミュレーション

図 1 に示す系統を対象として、図中 F 点における 1 回線 3 相地絡故障を想定し、解列発電機を G2 または G5 として電源制限のシミュレーションを実施した。その一例を位相動揺曲線として図 6 および図 7 に示す。また比較のため、電源制限を実施しなかった場合のシミュレーション結果を図 8 に合わせて示す。

図 8 において、それぞれ発電機出力および負荷は基準の 130% (62.9p.u.) であり、故障継続時間は 0.54sec である。また、図 6 および図 7 においては、故障除去後 50ms 後に対象発電機を解列している。G2 解列時 (図 6) においては、故障除去および電源制限実施後、動揺はするものの全ての発電機が平衡点に収束しており、系統安定化効果が得られた例である。また G5 解列時 (図 7) においては、

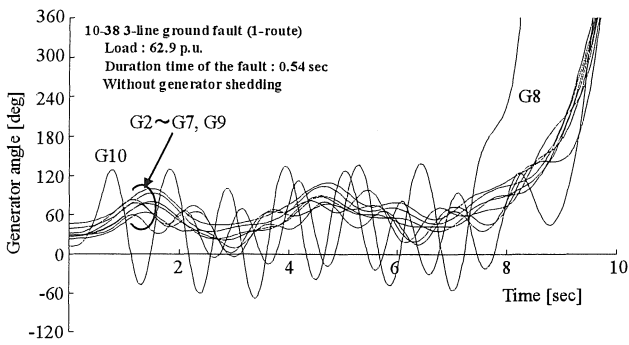


図 8 位相動揺曲線 (電源制限なし)
Fig8. Swing curve (without generator shedding)

電源制限を実施したにもかかわらず、故障発生後約 7.5sec において G8 のみ N 波脱調している。電源制限を実施しなかった場合 (図 8) においては、故障発生後 7.5~9sec において、全ての発電機が N 波脱調している。以上の結果より、N 波脱調を伴う故障発生時において、適切な発電機を選択し解列することによって、系統の安定化が期待できると言える。

同様の電源制限シミュレーションを発電機出力および負荷、故障継続時間を変化させて実施した。シミュレーション結果として、故障除去時の運動エネルギー E_{ksw} および位置エネルギー E_{psw} で与えられる安定度領域を求め、図 9 および図 10 に示す。ここで、図 9 は G2、図 10 は G5 を解列発電機とした場合の結果である。また、電源制限の実施時間は、故障除去後 50ms としてある。これらの図において、故障除去後の系統が対象発電機を解列することなく安定となる場合を○印、解列することによって安定化する場合を▲印、解列しても不安定となる場合を×印で示す。これらの結果から、電源制限による系統安定化可能領域 (図中▲印) が、 E_{ksw} および E_{psw} の値により表すことができる。図中に▲および×印で示した故障条件において電源制限を実施しない場合、すべて図 8 に示した例のように N 波脱調をするケースである。また、G5 を解列発電機とした場合に比べ、G2 を解列発電機とした場合において系統安定化領域が広いと言える。つまり、G5 を解列した場合においては電源制限効果が得られないが、G2 を解列した場合においては電源制限による系統安定化が期待できる故障条件があり得ることである。よって、図 1 中 F 点における 1 回線 3 相地絡故障を想定した場合、解列発電機として G5 に比べ G2 の方が適切であると言える。

5. 電源制限を想定した過渡安定度推定

前節の結果から、電源制限実施時における対象発電機を解列した場合の系統安定化可能領域を、 E_{ksw} および E_{psw} の値により表すことができる。そこで、対象発電機解列後の系統安定度推定システムを図 11 のように構築し

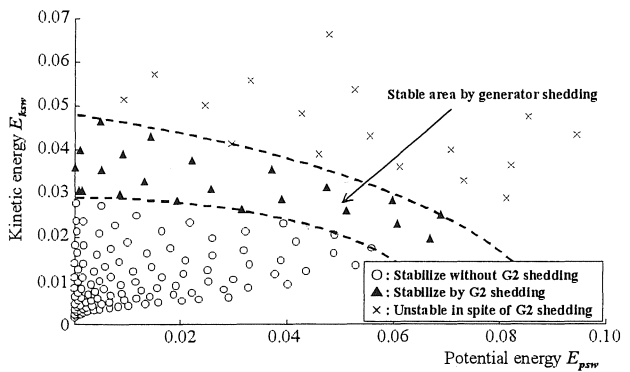


図 9 G2 解列時の過渡安定度シミュレーション結果
Fig9. Simulation results of transient stability at G2 shedding

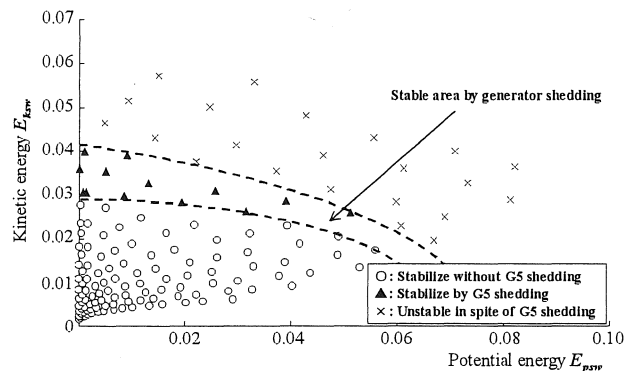


図 10 G5 解列時の過渡安定度シミュレーション結果
Fig10. Simulation results of transient stability at G5 shedding

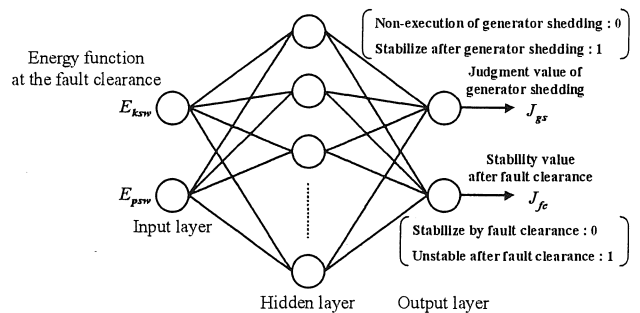


図 11 電源制限を想定した過渡安定度推定システム
Fig11. Estimation system of transient stability assumed generator shedding

つまり、故障線路除去後も系統が不安定であり、対象発電機を解列後、安定化する場合に限り電源制限を実施すればよいと言える (J_{gs} の出力値が 0, J_{fe} の出力値が 1 に近い場合)。この推定システムは 3 層階層型ニューラルネットワークで構成され、入力層は故障除去時のエネルギー関数 E_{ksw} , E_{psw} の値とした。出力層は 2 ユニットとし、それぞれ電源制限実施後の安定度判定値 J_{gs} および故障除

去後の安定度判定値 J_{fc} を対応させた。ここで J_{gs} は、電源制限対象発電機を解列せずとも安定を保つ場合および解列により安定化する場合を 0 とし、解列後も不安定な場合を 1 とした。また J_{fc} は、故障線路の除去により系統が安定化する場合を 0 とし、除去後も不安定となる場合を 1 とした。

解列対象発電機を G2 とした場合の学習用データを表 3 にまとめ、安定度推定結果を表 4 および図 12 に示す。図中括 () 左側に示す数値は J_{gs} 、右側に示す数値は J_{fc} の出力値である。G2 を解列せずとも安定となる場合（電源制限を実施してはならない場合、図中○印で示す領域）においては、 J_{gs} および J_{fc} の値は共に 0 に近い値を出力しており、良好な推定結果であると言える。G2 解列後も不安定となる場合（図中×印で示す領域）においては、 J_{gs} および J_{fc} の値は共に 1 を出力しており、これも良好な推定結果であると言える。G2 解列により安定となる場合（図中▲印で示す領域）においては、 J_{gs} はすべて 0、 J_{fc} の値も教師値 1 に対して 0.81 を出力するケースが見られるが、0.5 以上を推定成功とする評価基準を適用した場合、すべてのケースにおいて良好な推定結果であると言える。

解列対象発電機を G5 とした場合の安定度推定結果を図 13 に示す。G5 を解列せずとも安定となる場合においては、両出力値共にほぼ 0 に近い値を出力しており、良好な推定結果であると言える。G5 解列後も不安定となる場合においては、両出力値共にすべて 1 を出力しており、これも

表 4 G2 解列を想定した推定用データ

Table 4. Estimation data assumed G2 shedding

ケース	故障条件		Epsw	Eksw	Jgs		Jfc	
	負荷	故障継続時間			推定値	教師値	推定値	教師値
1		0.54s	0.039	0.015	0.00	0	0.00	0
2		0.56s	0.049	0.016	0.00	0	0.00	0
3		0.58s	0.056	0.018	0.00	0	0.00	0
4		0.60s	0.067	0.020	0.00	0	0.81	1
5		0.46s	0.026	0.020	0.00	0	0.00	0
6		0.48s	0.032	0.021	0.00	0	0.00	0
7		0.50s	0.039	0.023	0.00	0	0.10	0
8		0.52s	0.051	0.026	0.00	0	1.00	1
9		0.54s	0.060	0.029	0.01	0	1.00	1
10		0.56s	0.073	0.033	1.00	1	1.00	1
11		0.58s	0.082	0.036	1.00	1	1.00	1
12		0.60s	0.095	0.043	1.00	1	1.00	1
13		0.36s	0.005	0.021	0.00	0	0.00	0
14		0.38s	0.008	0.023	0.00	0	0.00	0
15		0.40s	0.012	0.025	0.00	0	0.00	0
16		0.42s	0.019	0.028	0.00	0	1.00	1
17		0.44s	0.026	0.031	0.00	0	1.00	1
18		0.46s	0.037	0.036	1.00	1	1.00	1
19		0.48s	0.046	0.039	1.00	1	1.00	1
20		0.50s	0.056	0.043	0.00	0	1.00	1
21		0.30s	0.000	0.024	0.00	0	0.00	0
22		0.32s	0.000	0.028	0.00	0	0.00	0
23		0.34s	0.001	0.031	0.00	0	1.00	1
24		0.36s	0.005	0.036	0.00	0	1.00	1
25		0.38s	0.009	0.039	0.00	0	1.00	1
26		0.40s	0.014	0.043	0.00	0	1.00	1
27		0.42s	0.025	0.050	1.00	1	1.00	1
28		0.44s	0.033	0.056	1.00	1	1.00	1
29		0.46s	0.048	0.066	1.00	1	1.00	1
推定成功数/全推定サンプル数(68)					68/68	(100%)	68/68	(100%)

表 3 G2 解列を想定した学習用データ

Table 3. Training data assumed G2 shedding

ケース	故障条件		Epsw	Eksw	教師値	
	負荷	故障継続時間			Jgs	Jfc
1		0.50s	0.032	0.017	0	0
2		0.52s	0.042	0.019	0	0
3		0.54s	0.049	0.021	0	0
4		0.56s	0.061	0.023	0	1
5		0.58s	0.069	0.025	0	1
6		0.60s	0.081	0.029	1	1
7		0.40s	0.010	0.019	0	0
8		0.42s	0.017	0.022	0	0
9		0.44s	0.022	0.023	0	0
10		0.46s	0.032	0.026	0	1
11		0.48s	0.039	0.029	0	1
12		0.50s	0.047	0.031	0	1
13		0.52s	0.061	0.036	1	1
14		0.54s	0.071	0.040	1	1
15		0.56s	0.085	0.047	1	1
16		0.32s	0.000	0.021	0	0
17		0.34s	0.002	0.024	0	0
18		0.36s	0.005	0.027	0	0
19		0.38s	0.009	0.030	0	1
20		0.40s	0.013	0.033	0	1
21		0.42s	0.022	0.038	0	1
22		0.44s	0.030	0.041	1	1
23		0.46s	0.043	0.048	1	1
24		0.48s	0.053	0.054	1	1
25		0.30s	0.001	0.031	0	1
26		0.32s	0.000	0.036	0	1
27		0.34s	0.001	0.040	0	1
28		0.36s	0.005	0.047	0	1
29		0.38s	0.009	0.052	1	1
30		0.40s	0.015	0.057	1	1

全学習サンプル数 (78)

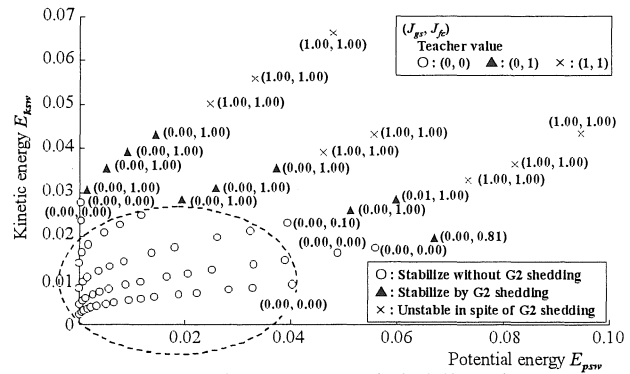


図 12 G2 解列後の過渡安定度推定結果

Fig12. Estimation results of transient stability after G2 shedding

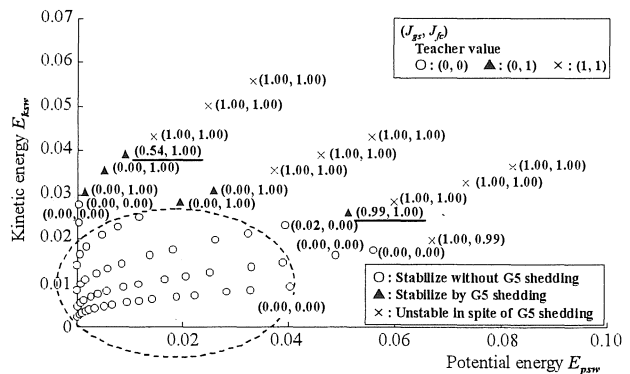


図 13 G5 解列後の過渡安定度推定結果

Fig13. Estimation results of transient stability after G5 shedding

良好な推定結果であると言える。G5 解列により安定となる場合においては、6 例中 4 例において教師値と等しい値を出力しており、比較的良好的な推定結果であるが、 J_{gs} の値は本来 0 と出力されるべきであるにもかかわらず 0.5 を超える出力値である場合が 2 例見られた（図中において、推定に失敗した例を下線付きで示す）。

以上の結果から、図 11 に示す過渡安定度推定システムを適用した場合、想定した電源制限発電機解列後の安定判別を故障除去と同時に可能であることが確認でき、N 波脱調を伴う故障に対しても適用可能であることが検証できた。

6. あとがき

提案する安定度推定システムについて N 波脱調を伴う故障に対して適用し、故障除去と同時にシステムの安定判別を実施することを試みた。その結果、良好な推定結果が得られ、提案する安定度推定システムが 1 波、N 波脱調を問わず有効であることを確認した。また、電源制限を想定した場合の対象発電機解列後における安定度推定を実施し、N 波脱調故障時においても電源制限効果の有無を比較的精度良く推定可能であることが確認できた。今後、N 波脱調故障時においても適用可能な最適な解列発電機の手法の開発する。

参考文献

- (1)Y. Ohura, K. Matsuzawa, H. Ohtsuka, N. Nagai, T. Gouda, H. Oshida, S. Takeda, and S. Nishida: "Development of Generator Tripping System for Transient Stability Augmentation Based on the Energy Function Method", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.3, pp68-77 (1986-7)
- (2)Y. Oura, M. Suzuki, K. Yanagihashi, M. Sato, R. Tsukui, T. Matsushima, and K. Omata: "Approach and Structure of Stabilizing Control System Preventing an Extension of Loss of Synchronism", T.IEEJapan, Vol.112-B, No.7, pp593-601 (1992-7) (in Japanese)
- 大浦好文, 鈴木守, 柳橋健, 佐藤正弘, 津久井良一, 松島哲郎, 小俣和也: 「電源システムの事故波及防止システムの方式と構成」, 電学論B, 112 巻 7 号, pp.593-601 (1992-7)
- (3)H. Ota, T. Inoue, H. Ito, N. Fukushima, K. Omata, K. Morita, and Y. Kokai: "Development of Transient Stability Controller System (TSC) Based on On-Line Stability Calculation", T.IEEJapan, Vol.115-B, No.1, pp75-83 (1995-1) (in Japanese)
- 太田宏次, 井上紀宏, 伊藤久徳, 福島宣夫, 小俣和也, 森田憲一, 小海裕: 「オンライン安定度計算による脱

調未然防止システム (TSC) の開発」, 電学論B, 115 巻 1 号, pp75-83 (1995-1)

(4)山田浩, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 田端康人, 小川重明: 「電力系統事故時における電源制限発電機の選択システムの提案」, 電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-01-107/PSE-01-101 (2001-10)

(5)Y. Xue, Th. Van Cutsem, and M. Ribbens-Pavella: "A Simple Direct Method for Fast Transient Stability Assessment of Large Power Systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.3, No.2, pp400-412 (1988-5)

(6)H. Yamada, L. Yang, K. Yukita, Y. Goto, K. Mizuno, K. Ichiyangi, Y. Tabata, and I. Kohda: "Estimation of Power System Transient Stability by Artificial Neural Network Taking Account of Energy Function", T.IEEJapan, Vol. 121-C, No.2, pp430-437 (2001-2) (in Japanese)

山田浩, 李楊, 雪田和人, 後藤泰之, 水野勝教, 一柳勝宏, 田端康人, 香田勲: 「ニューラルネットワークを用いた電力系統の過渡安定度推定」, 電学論C, 121 巻 2 号, pp.430-437 (2001-2)

付 録

系統縮約とエネルギー関数

多機系統の全発電機について、安定な発電機群 A と不安定な発電機群 S とに分ける。各発電機群の動揺を位相中心の考え方で表すと、次式の 2 機系のモデルに縮約される⁽⁵⁾。

$$M_a \frac{d^2 \delta_a}{dt^2} = \sum_{k \in A} (P_{mk} - P_{ek}) \quad (\text{付 1})$$

$$M_s \frac{d^2 \delta_s}{dt^2} = \sum_{i \in S} (P_{mi} - P_{ei}) \quad (\text{付 2})$$

$$\delta_a = \frac{\sum_{i \in A} M_i \delta_i}{\sum_{i \in A} M_i} \quad \delta_s = \frac{\sum_{i \in S} M_i \delta_i}{\sum_{i \in S} M_i} \quad (\text{付 3})$$

さらに、集合 A における集合 S からの相対的な位相差を δ とすると、以下の 1 機無限大母線系で表される縮約モデルが得られる。

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - \{P_c + P_{em} \sin(\delta - \nu)\} \quad (\text{付 4})$$

$$\delta = \delta_s - \delta_a \quad (\text{付 5})$$

ここで、縮約モデルでの δ の安定平衡点を δ_0 とすれば、この縮約モデルに対するリアプノフ関数は以下のようになる。

$$V(\delta, \omega) = \frac{\omega^2}{2} + \frac{1}{M} [P_m \{ \sin(\delta - \delta_o) - (\delta - \delta_o) \} + \sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} \{ 1 - \cos(\delta - \delta_o) \}] \quad (\text{付6})$$

$= V_k$ (運動エネルギー) + V_p (位置エネルギー)

更に、系の不安定平衡点 δ^u におけるリアプノフ関数の値を V_{max} とし、故障除去時における正規化した運動エネ

ルギーの値 E_{ksw} および位置エネルギーの値 E_{psw} を次式より算出した⁽⁶⁾。

$$E_{ksw} = \frac{V_{ksw}}{V_{max}} \quad E_{psw} = \frac{V_{psw}}{V_{max}} \quad (\text{付7})$$

(受理 平成16年3月19日)