

전압의 주파수 편의를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘에 관한 연구

論 文

53A-3-7

A Study on the Out-of-Step Detection Algorithm using Frequency Deviation of the Voltage

蘇 光 勳* · 許 禎 容** · 金 喆 煥***

(Kwang-Hoon So · Jeong-Yong Heo · Chul-Hwan Kim)

Abstract - The protection against transient instability and consequent out-of-step condition is a major concern for the utility industry. Unstable system may cause serious damage to system elements such as generators and transmission lines. Therefore, out-of-step detection is essential to operate a system safely. The detection of out-of-step is generally based upon the rate of movement of the apparent impedance. However such relay monitors only the apparent impedance which may not be sufficient to correctly detect all forms of out-of-step and cannot cope with out-of-step for a more complex type of instability such as very fast power swing.

This paper presents the out-of-step detection algorithm using voltage frequency deviation. The digital filters based on discrete Fourier transforms (DFT) to calculate the frequency of a sinusoid voltage are used, and the generator angle is estimated using the deviation of the calculated frequency component of the voltage. The proposed out-of-step algorithm is based on the assessment of a transient stability using equal area criterion. The proposed out-of-step algorithm is verified and tested by using EMTP MODELS.

Key Words : Out-of-Step, Power Swing, EMTP, EMTP MODELS, Transient Stability

1. 서 론

현재 전력산업은 지속적인 부하의 성장 및 전력산업 구조 개편에 따라, 공공성보다는 경제성에 더 비중을 두고 있다. 따라서, 개개의 설비보호에 치중할 것으로 예상되고 이는 필연적으로 전력시스템의 안정도를 저해하는 요소로 작용하고 있기 때문에, 전력시스템 전체의 안정도의 중요성은 더욱 커지고 있다. 그러나, 시스템 안정도에 크게 영향을 미치는 동기탈조를 검출하기 위한 기존의 동기탈조 검출 알고리즘은 피상 임피던스 영역 통과만을 고려하여 검출하고 있기 때문에, 계통을 고려한 검출이 어렵고, 또한 빠른 계통의 동요에는 정확하게 검출하지 못하여 계전기가 오동작 또는 부동작하는 경우가 발생하므로, 시스템의 안정도를 더욱 악화시키는 문제점이 있다[1]. 따라서, 시스템의 과도안정도 평가를 통해, 외란이 시스템에 미치는 영향을 고려하여 적절한 보호동작을 수행하는 시스템의 안정도를 고려한 동기탈조 검출이 필요하다[2].

본 논문은 신호처리 기법인 DFT(discrete Fourier transform)를 이용하여 발전기 위상각을 추정한 동기탈조 검출 알고리즘을 제시하였다. 순시전압에서 DFT를 이용하여 전압의 기본파 페이저를 추출하였으며, 추출된 전압의 페

이저 위상각의 변화율을 이용하여 발전기 위상각을 추정하였다. 또한, 추정된 위상각을 이용하여 과도 안정도 평가방법인 등면적법을 통해 과도 안정도를 고려하여 동기탈조 검출 알고리즘을 도출하였다. 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘으로는 검출하기 어려운 빠른 계통의 동요에서도 정확히 동작하며, 또한 과도 안정도를 고려하므로 시스템의 안정도 증진에 기여할 것으로 기대한다. 제안된 동기탈조 알고리즘은 EMTP MODELS를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 동기탈조(out-of-step) 현상

동기탈조 현상이란, 일반적으로 정상 운전중인 전력시스템은 평형을 유지하지만 부하변동, 시스템의 고장, 스위칭 현상 등의 갑작스런 외란에 의해서 일부 시스템의 위상각이 커져 동기 불일치되어 선로 양단의 시스템 전원이 동요하는 현상을 말한다. 동기탈조 현상이 발생하는 동안의 전압, 전류는 전원의 위상차 δ 에 의해서 진동하며, 위상차 δ 의 변화정도에 따라 stable swing과 unstable swing으로 구분할 수 있다. unstable swing의 경우는 동기기가 동기탈조를 야기할 만큼 심한 전력동요(power swing)를 말하며 시스템의 불안정을 초래하기 때문에 시스템 전체의 안정도를 위해 미리 정해진 계통 분리 지점에서 트립이 필요하다[3]. 발전기의 위상차의 변화를 이해하기 위해서는 과도 안정도에 대한 이해가 필요하다.

3. 과도 안정도(transient stability)

전력시스템의 안정도란, 외란에 대해서 정상상태의 안정도

* 準 會 員 : 成均館大 工大 情報通信工學部 碩士課程
** 準 會 員 : 成均館大 工大 情報通信工學部 博士課程
*** 正 會 員 : 成均館大 工大 情報通信工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2003年 11月 17日
最終完了 : 2004年 1月 20日

를 잃지 않고 다시 다른 정상상태로 돌아가려는 동작특성을 말한다. 안정도는 크게 정태 안정도와 과도 안정도로 나눌 수 있는데, 정태 안정도는 부하 또는 발전기의 점진적인 변화나 작은 변동과 같은 비교적 작은 외란에 대한 전력계통의 안정도를 말하며, 과도 안정도는 고장과 같은 큰 규모의 외란에 대한 전력계통의 안정도를 말한다. 동기탈조는 과도 안정도와 같이 큰 규모의 외란에서 주로 발생되며 따라서, 과도 안정도 평가방법인 등면적법을 적용하면 동기탈조를 검출할 수 있다.

3.1 전력 동요방정식(power swing equation)

정상상태에서 발전기는 동기속도로 운전하지만, 계통에 외란이 발생하면 동기속도가 변하여 전기, 기계적 출력의 평형이 더 이상 유지되지 못하고 가속하게 되며, 다음 식 (1)은 회전체의 동요방정식을 나타낸 것이다 [4]. 즉, 회전체의 동요방정식은 과도상태에서 입·출력의 차이에 의해서 발전기의 회전각 속도가 변화하는 것을 알 수 있고, 과도상태일 때 발전기의 입력과 출력사이의 과도적인 차이에 의해 발전기 상차각이 2차 비선형 미분방정식 형태로 변화하는 것을 알 수 있다.

$$M \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \tag{1}$$

$$P_e = \frac{V_S V_R}{X} \sin \delta = P_{\max} \sin \delta \tag{2}$$

- 여기서 δ : 발전기의 상차각
- P_m : 터빈의 기계적 입력
- P_e : 발전기의 전기적 출력
- P_{\max} : 발전기 전기적 출력의 최대값
- P_a : 가속전력
- M : 관성 모멘트

식 (2)에서 발전기에서 나오는 전기적 출력(P_e)는 전원의 전압, 전원사이의 임피던스와 발전기의 상차각에 따라 달라지며, 최대전력은 δ 가 90° 일 때 P_{\max} 가 된다. 식 (2)의 발전기 상차각 δ 에 대한 발전기 출력에 대한 관계는 다음 그림 1과 같이 전력-상차각 곡선으로 나타낼 수 있다[4].

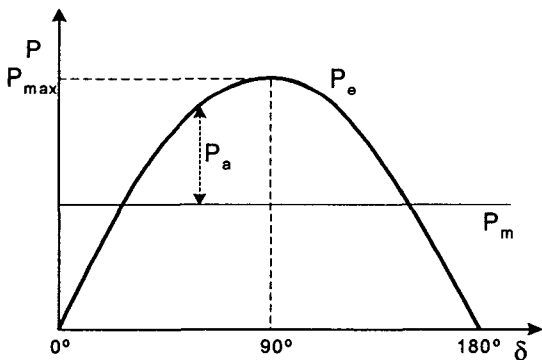


그림 1 전력-상차각 곡선
Fig. 1 Power-angle curve

3.2 등면적법(equal area criterion)

등면적법은 과도상태시 동기발전기의 입·출력에 대한 에너지 과부족을 전력-상차각 곡선에서 면적으로 나타내 안정도를 평가하는 방법으로, 다기계통에서는 적용할 수 없지만, 과도안정도 현상의 기본개념을 이해하는데 도움을 준다 [2][4].

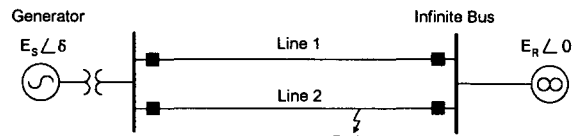


그림 2 1기 무한모선 계통
Fig. 2 One machine infinite bus

계통이 그림 2와 같은 1기 무한모선일 때, 계통의 상태가 다음과 같이 4가지 상태로 변한다고 가정하자.

- ① Line 2에서 3상고장 발생
- ② 고장상태 지속
- ③ 고장선로(Line 2)를 차단하여 고장을 제거
- ④ 고장제거 후 상태지속

그림 2의 계통을 위의 4가지 상태와 같이 변화시켰을 때의 전력-상차각 곡선과 상차각의 변화는 다음 그림 3-4와 같다. 면적 A_1 구간은 식 (1)에 의해서 가속전력($P_m - P_e$)이 (+) 구간 즉, 회전각이 가속하는 구간이고 면적 A_2 구간은 가속전력($P_m - P_e$)이 (-) 구간으로 회전각이 감속하는 구간이다. 그림 3은 안정한 경우로서 회전각 가속구간(면적 A_1)과 감속구간(면적 A_2)면적이 같아지는 지점에서 발전기 회전각의 속도가 0이 되어 다시 감속하게 되며 감속, 가속을 반복하면서 안정하게 수렴하게 된다. 반면, 그림 4는 불안정한 경우로서 면적 A_2 가 면적 A_1 보다 작게 되어 회전각 속도가 완전히 감속하지 못하고 계속 가속하게 되어 회전각이 발산하게 되는 경우이다.

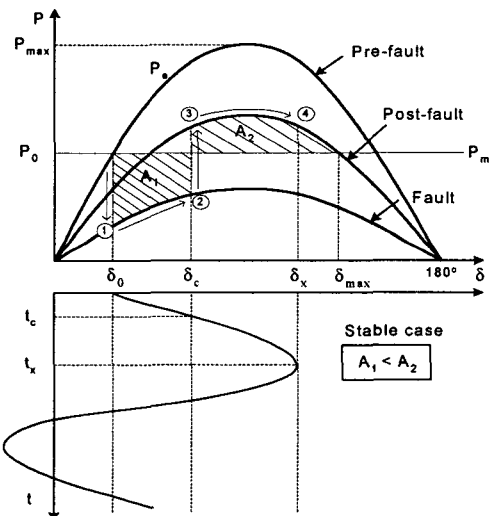


그림 3 전력-상차각 곡선 (안정한 경우)
Fig. 3 Power-angle curve (stable case)

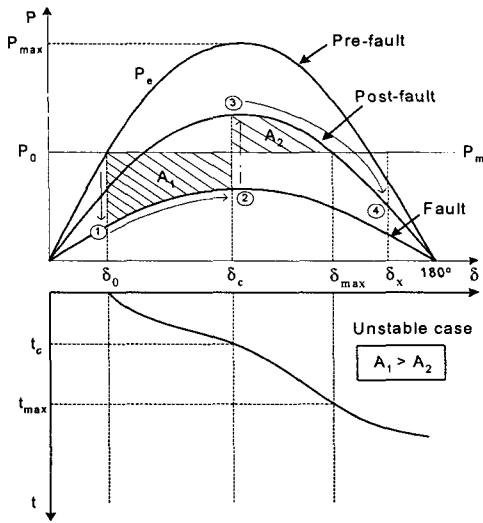


그림 4 전력-상차각곡선 (불안정한 경우)
Fig. 4 Power-angle curve (unstable case)

동기탈조 현상은 발전기 위상각이 동기를 잃어 동요하는 현상으로 그림 3과 같은 경우는 stable swing으로 시간이 지남에 따라 안정해지지만, 그림 4와 같은 경우는 unstable swing으로 위상각이 발산하여 동기탈조 현상이 발생하게 된다. 따라서, 이러한 unstable swing을 검출하는 것을 동기탈조 검출이라 하며, 계통안정도를 위해 트립시켜야 한다.

4. 전압의 주파수 편의를 이용한 발전기 위상각 추정

4.1 DFT를 이용한 주파수 추정 방법

전압 파형에 DFT를 이용하면 전압의 페이저를 계산할 수 있다. 이산 입력신호가 $v(k)$ 이고 한 주기동안의 샘플 수를 N 이라고 하면, 이 신호를 DFT변환한 식은 다음 식 (3)과 같다.

$$V(n) = \sum_{k=0}^{N-1} v(k) W_N^{nk} \quad (n=0,1,2,\dots,N-1) \quad (3)$$

여기서, $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ 이다.

$v(k)$: 전압의 샘플링 값
 N : 샘플링 수

$n=1$ 일 때, 기본파를 추출한 페이저식은 다음 식(4)와 같다.

$$V(1) = \sum_{k=0}^{N-1} v_k \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} v_k \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (4)$$

여기서, $v_k = v[n-(N-1)+k]$ 이다.

페이저 위상각의 각 주파수는 다음 식 (5)와 같다.

$$\omega = \frac{\arg[V_k] - \arg[V_{k-1}]}{T} \quad (5)$$

여기서, $\arg[V_k] = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{Im}[V_k]}{\text{Re}[V_k]} \right\}$

ω : 신호의 각 주파수 성분 [rad/s]

T : 샘플링 간격 [s]

식 (5)와 같이 페이저 위상각의 변화율을 계산하여 주파수 성분을 추정할 수 있다[5]-[7].

4.2 1기 무한모선 계통의 발전기 위상각 추정

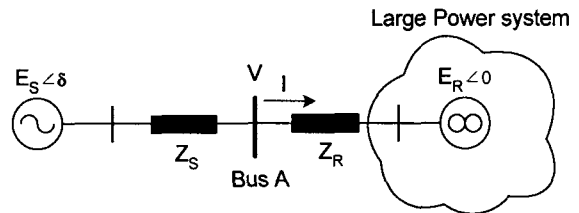


그림 5 1기 무한모선계통 모델
Fig. 5 Model of one machine infinite bus

계통이 그림 5와 같을 때, Bus A에서 측정된 전압은 다음 식 (6)과 같다.

$$V = \left(\frac{Z_R}{Z_S + Z_R} \right) E_S \angle \delta + \left(\frac{Z_S}{Z_S + Z_R} \right) E_R \angle 0 \quad (6)$$

식 (6)을 순시전압으로 나타내면 다음 식 (7)과 같다.

$$v(t) = A \cos[\omega_0 t + \delta(t) + a] + B \cos[\omega_0 t + b] \quad (7)$$

$$A = \left| \frac{Z_R}{Z_S + Z_R} \right| |E_S| \quad a = \arg \left[\frac{Z_R}{Z_S + Z_R} \right]$$

$$B = \left| \frac{Z_S}{Z_S + Z_R} \right| |E_R| \quad b = \arg \left[\frac{Z_S}{Z_S + Z_R} \right]$$

여기서, ω_0 는 기본 각 주파수($2\pi f$)를 의미하고, $\delta(t)$ 는 power swing시 시간에 따라 변화하는 발전기 위상각이다.

식 (7) 순시전압은 식 (3)-(4)을 이용하여 DFT를 통해 전압의 기본파 페이저를 추출한 후, 식 (5)의 페이저 위상각의 변화율을 이용하면 각 주파수 ω 를 추정할 수 있다. 추정된 각 주파수 ω 는 다음 식 (8)과 같다.

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\delta(t)}{dt} = \omega_0 + \omega_d(t) \quad (8)$$

여기서 : ω_d 는 각 주파수의 편의이다.

식 (8)을 시간 t 에 대하여 미분한 각 가속도 a 는 다음 식 (9)와 같다.

$$a = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\delta(t)}{dt^2} = \frac{d\omega_d(t)}{dt} \quad (9)$$

따라서, 전압의 주파수 편의를 계산하여 식 (9)와 같이 발전기의 위상각의 2계 미분값의 추정이 가능하다.

5. 전압의 주파수 편의를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘

식 (5)를 이용하여 순시전압의 각 주파수 성분을 계산하고 식 (8)과 같이 각 주파수와 발전기 위상각의 미분값을 계산할 수 있다. 그리고, 식 (8)을 미분하여 발전기 위상각의 2계 미분값을 구할 수 있다.

발전기 위상각의 변화에 따른 발전기 위상각의 미분값(속도)의 변화는 다음 그림 6과 같다. 안정한 경우(stable swing)는 등면적법에서 살펴보았듯이 회전각의 속도가 점점 감소하여 0이 되는 시점이 존재했지만, 불안정한 경우(unstable swing)는 회전각의 속도가 완전히 감소하지 못하고 가속하게 된다. 따라서, 발전기 회전각이 완전히 감소되지 않고 가속하기 시작하는 시점 이후에는 더 이상 발전기의 위상각이 동기를 유지하지 못하고 탈조하게 된다. 따라서, 이와 같은 시점을 검출함으로써 정확하게 동기탈조를 검출할 수 있다.

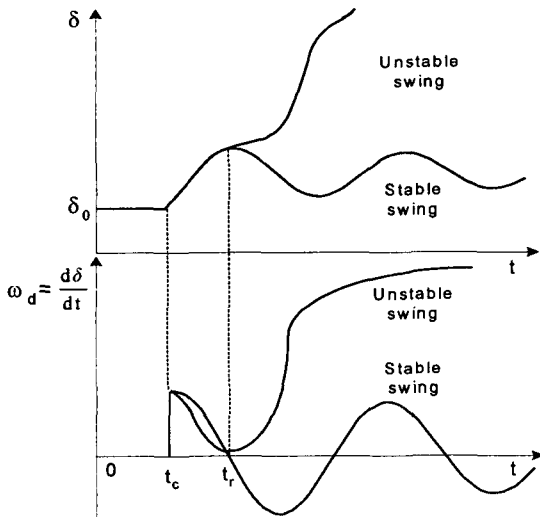


그림 6 시간에 따른 위상각 궤적
Fig. 6 Time trajectories of generator angle

5.1 안정한 경우(stable swing)

그림 6에서 안정한 경우(stable swing)는 사고제거(t_c) 후 위상각이 증가하다가 (t_r)시점에서 다시 감소하게 된다. 이때, 발전기 위상각의 미분 ($\omega_d = d\delta/dt$) 는 0이 되고, 가속전력($P_a = M d^2\delta/dt^2$)은 음의 값을 가지며, 다음 식(10)과 같다.

$$\omega_d(t_r) = 0, P_a(t_r) < 0 \tag{10}$$

다음 그림 7은 안정한 경우의 전력-상차각 곡선을 나타

낸 것이다. 그림 7에서 ① - ⑤까지 위상각이 진동함에 따라, 각 주파수 ω 와 각 가속도 α 의 궤적은 다음 그림 8과 같다. 위상각이 그림 7의 ① - ⑤까지 진동함에 따라 궤적은 기본 주파수($0, 2\pi f$), 즉, $(0, 120\pi)$ 를 중심으로 원형을 그리며 회전한다.

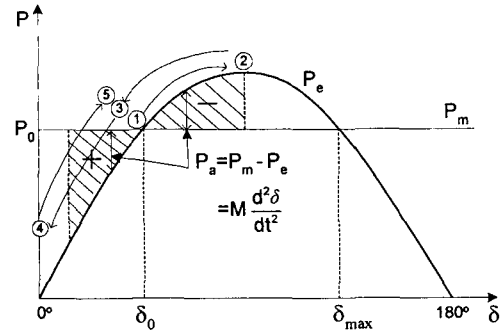


그림 7 전력-상차각 곡선 (안정한 경우)
Fig. 7 Power-angle curve (stable case)

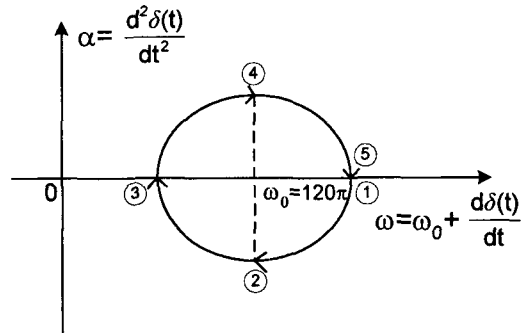


그림 8 ω 와 α 의 궤적에 의한 동기탈조 검출 (안정한 경우)
Fig. 8 Detection of out-of-step using trajectory of ω and α (stable case)

따라서, 안정한 경우(stable swing)는 전력동요(power swing)를 발생시키는 발전기 상차각의 진동에 의해서 궤적은 원형으로 회전하며, 안정해점에 따라 점점 $(0, 120\pi)$ 값에 수렴한다.

5.2 불안정한 경우(unstable swing)

그림 6에서 불안정한 경우(unstable swing)는 사고제거(t_c) 후 전기적인 출력이 기계적 입력보다 작아지는 시점부터 위상각이 급격히 상승한다. 이때, 발전기 위상각의 미분 ($\omega_d = d\delta/dt$) 는 0이상 이 되고, 가속전력($P_a = M d^2\delta/dt^2$)은 0의 값을 가지며 다음 식(11)과 같다.

$$\omega_d(t_r) > 0, P_a(t_r) = 0 \tag{11}$$

다음 그림 9는 불안정한 경우의 전력-상차각 곡선을 나타

타낸 것이다. 그림 9에서 ① - ③까지 위상각이 증가함에 따라 각 주파수 ω 와 각 가속도 α 의 궤적은 다음 그림 10과 같다. 위상각이 그림 9의 ① - ③까지 증가함에 따라 궤적은 각 주파수 ($\omega = \omega_0 + d\delta/dt$)가 기본 주파수보다 크면서 각 가속도 ($\alpha = d^2\delta/dt^2$)가 (-)에서 (+)로 이동하는 것을 알 수 있다.

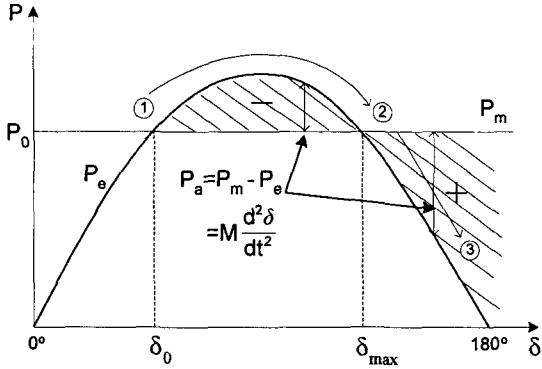


그림 9 전력-상차각 곡선 (불안정한 경우)
Fig. 9 Power-angle curve (unstable case)

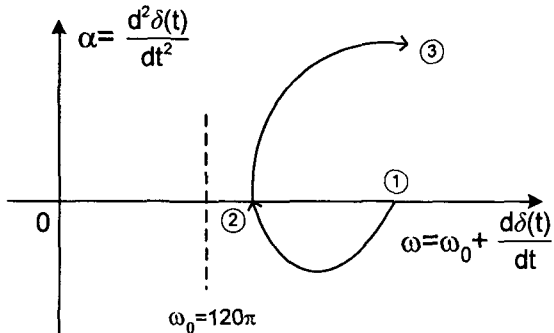


그림 10 ω 와 α 의 궤적에 의한 동기탈조 검출 (불안정한 경우)
Fig. 10 Detection of out-of-step using trajectory of ω and α (unstable case)

따라서, 동기탈조가 발생하는 불안정한 경우(unstable swing)는 그림 10의 ②지점에서 ③지점 즉, 각 주파수가 120π 보다 크고 각 가속도가 (-)값에서 (+)값으로 바뀌는 순간을 검출하여 트립신호를 출력한다.

5.3 동기탈조 검출 알고리즘

전압의 주파수 편의를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘의 흐름도는 다음 그림 11과 같다. 입력받은 순시전압은 DFT 필터를 이용하여 식 (4)와 같이 기본파를 추출하였다. 식 (3)과 같은 전압의 주파수 편의를 추정하기 위하여 기본파의 페이저 위상각의 변화율을 계산하였다. 식 (8)의 변화율을 계산하여 식 (9)의 발전기의 2계 미분값을 추정하였다.

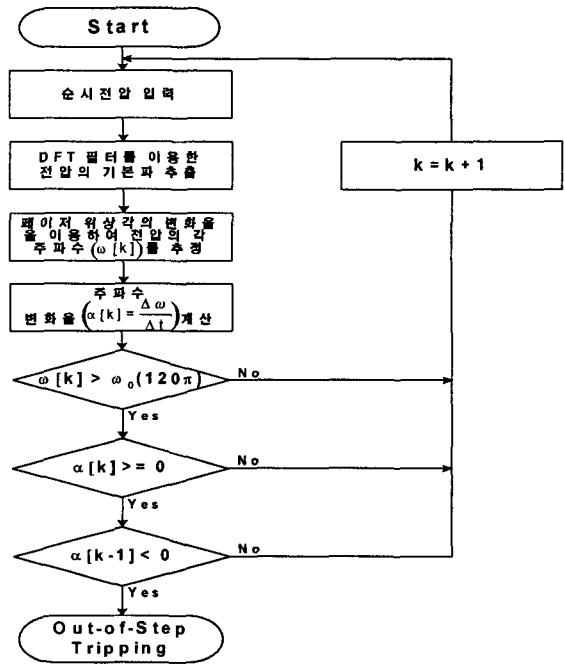


그림 11 동기탈조 검출 순서도
Fig. 11 Flow chart of out-of-step detection

6. 시뮬레이션 결과

6.1 시뮬레이션 방법

전압의 주파수 편의를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘의 검증에 위해 시뮬레이션에 사용된 계통은 다음 그림 12와 같다. 계통 전압은 345kV이고 동기발전기 G1이 연결된 BUS 1에서 BUS 2를 향하여 조류가 흐르고 BUS 1에 Relay A가 연결되어 있을 때 BUS 1과 BUS 2사이의 Line 2에서 고장을 발생시켜 일정시간 지속 후 Line 2를 차단하였다. 동기 발전기 G1는 EMTP Type-59 동기기 모델과 TACS를 사용한 조속기, 여자기 모델을 사용하여 22kV 전압과 6300MVA 용량의 울진 N/P를 모델링하였다. 선로의 길이는 100km이고 기준용량은 100MVA로 계산하였다.

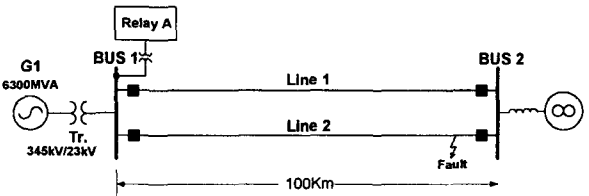


그림 12 계통 모델
Fig. 12 Model of power system

계통에 동기탈조 상태를 모의하기 위해 시뮬레이션 시작 2초 후에 그림 12의 Line 2의 95%지점에 3상고장을 발생시키고 각각 고장지속시간 20주기, 35주기 후 고장을 제거하였다. 고장이 제거된 후 발전기 G1에서 전력동요가 발생하였다. 동기발전기 G1의 초기 위상각은 20도로 설정하였다.

6.2 안정한 경우(stable swing-고장 지속시간 20주기)

고장 지속시간 20주기 후 고장을 차단했다. 발전기 위상각은 진동하지만, 안정한 경우로 동기탈조는 발생되지 않고, 전력동요(power swing)만 발생하였다.

다음 그림 13은 실제 발전기 위상각(δ), 추정된 발전기의 위상각의 미분값($d\delta/dt$) 및 2계 미분값($d^2\delta/dt^2$)를 나타내고 있다. DFT를 이용하여 추정된 발전기 위상각은 실제 발전기 각의 미분값과 위상이 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

다음 그림 14는 추정된 발전기 위상각의 궤적을 나타낸다. 그림 8에서와 같이 궤적이 기본주파수($0, 120\pi$)를 중심으로 원형을 그리는 것을 볼 수 있다.

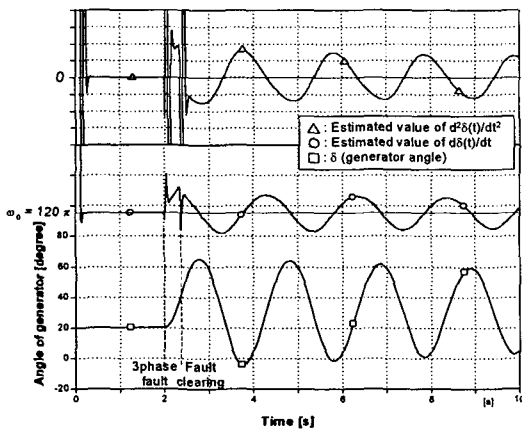


그림 13 추정된 발전기각 및 실제 발전기각 (고장 지속시간 20주기)

Fig. 13 Estimated generator angle and real generator angle (fault duration 20 cycles)

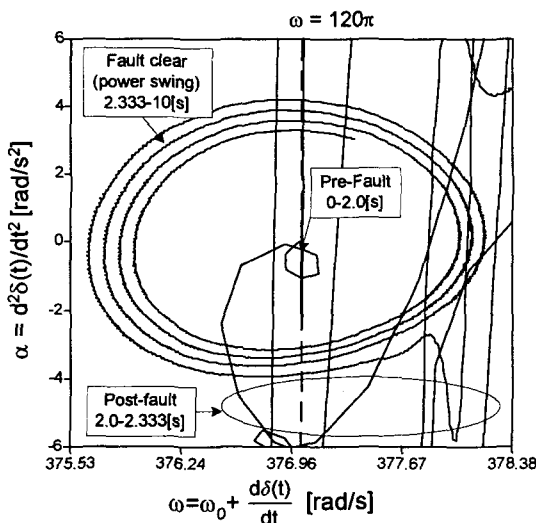


그림 14 ω 와 α 의 궤적 (고장지속시간 20주기)

Fig. 14 Trajectory of ω and α (fault duration 20 cycles)

6.3 불안정한 경우(unstable swing-고장 지속시간 35주기)

고장 지속시간 35주기 후 고장을 차단했다. 발전기 위상각은 진동하며, 시뮬레이션 시작 6초 이후에 발전기 위상각이 가속하여 동기탈조가 발생하였다.

다음 그림 15는 실제 발전기 위상각, 추정된 발전기의 위상각의 미분값 및 2계 미분값을 나타내고 있다. 전기적인 출력이 기계적인 입력보다 작아지는 시점인 6초 지점에서 위상각이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

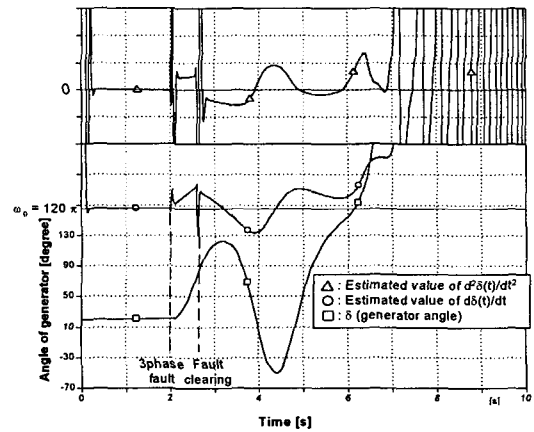


그림 15 추정된 발전기각 및 실제 발전기각 (고장 지속시간 35주기)

Fig. 15 Estimated generator angle and real generator angle (fault duration 35 cycles)

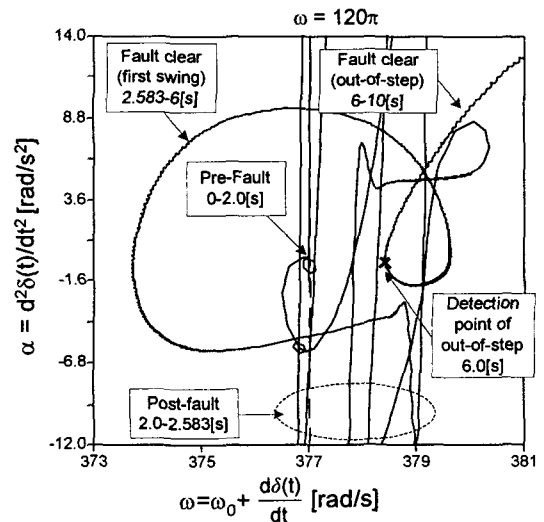


그림 16 ω 와 α 의 궤적 (고장지속시간 35주기)

Fig. 16 Trajectory of ω and α (fault duration 35 cycles)

그림 16은 추정된 발전기 위상각의 궤적을 나타낸다. 앞의 결과와는 달리 불안정한 경우로서 궤적이 위상각의 미분

값(각 주파수)은 기본 주파수(120π)보다 크면서 위상각의 2계 미분값(각 가속도)은 (-)에서 (+)로 이동하는 시점이 존재함을 알 수 있다. 따라서, 시뮬레이션 시간 6초 시점에서 동기탈조를 검출할 수 있다.

7. 결 론

본 논문은 발전기 위상각을 추정하여 안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘을 제시하였다. 전압을 DFT하여 주파수 편의를 추정하고 주파수 편의로부터 발전기 위상각을 추정하였다. 또한, 과도 안정도 평가에 사용되는 등면적법을 통해 과도 안정도를 판정하였다. 판정된 결과에 의해 발전기 위상각의 미분값과 발전기 위상각의 2계 미분값 궤적을 분석하여 동기탈조 검출 알고리즘을 도출하였다. 시뮬레이션 결과 발전기 위상각이 증가하여 동기가 불안정해지는 동기탈조를 정확하게 검출하였다.

이는 기존의 동기탈조 검출에 사용되는 피상임피던스 궤적의 통과만을 고려한 방식과 달리, 직접 발전기 위상각을 추정함으로써 과도 안정도를 고려하여 동기탈조를 검출하는 알고리즘이다. 제시된 알고리즘은 계통의 동요에 정확히 대처하고 계전기의 오동작 및 부동작을 방지함으로써, 신뢰성 있는 계통운용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] A. Mechraoui, D. W. P. Tomas, "A New Blocking Principle with Phase and Earth Fault Detection during Fast Power Swings for Distance Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp. 1242-1248, July 1995.

[2] V. Centeno, A. G. Phadke, A. Edris, J. Benton, M. Gaudi, G. Michel, "An Adaptive Out-of-Step Relay", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 61-71, Jan. 1997.

[3] N. V. Kosterev, V.P. Yanovsky, D. N. Kosterev, "Modeling of Out-of-Step Conditions in Power System", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No. 2, pp. 839-844, May 1996.

[4] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Inc., pp.829-830, 1994.

[5] Arun G. Phadke, James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", John Wiley & Sons inc., pp.112-162, 1993.

[6] Arun G. Phadke, James S. Thorp. "A New Measurement Technique for Tracking Voltage Phasor, Local System Frequency, and Rate of Change of Frequency", IEEE Trans. on Power System, Vol. 102, No. 5, pp. 1025-1034, May. 1983.

[7] Tadeusz Lobos, Jacek Reznier, "Real-Time Determination of Power System Frequency", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 46, No. 4, pp. 877-881, August 1997.

저 자 소 개



소 광 훈 (蘇 光 勳)

1976년 8월 1일생. 2002년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업. 현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정, 차세대전력기술연구센터
Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : comboy7@dscal.skku.ac.kr



허 정 용 (許 禎 容)

1974년 12월 28일생. 2000년 성균관대 전자공학과 졸업. 현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정, 차세대전력기술연구센터
Tel : 031-290-7166, Fax : 031-290-7955
E-mail : rc1901@hanmail.net



김 철 환 (金 喆 煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 차세대전력기술연구센터
Tel : 031-290-7124
Fax : 031-290-7179
E-mail : chkim@skku.edu