

실시간 전력계통 감시에 의한 전력계통 안정도 향상

장성익, 민병욱
한국전력공사

Improvement of Power System Stability by Real-time Monitoring system

Jang, Sung-ik Min, Byeong-wook
KEPCO

Abstract - 과학과 기술의 급속한 발달로 새로운 장비와 기술이 전력계통에 실용화 되고 있다. 이런 응용은 주로 경제적 이익을 향상시킬 뿐 아니라 전력계통의 계산과 분석과정을 크게 단순화 하고 전 계통 운전조건에서 제어센터에서 실시간 감시나 온라인 수행을 가능케 한다.

이러한 실시간 광역 계통감시, 제어, 보호 기술은 계통안정도의 모든 분야에 대해 감시, 제어, 보호가 가능하며 그 범위가 넓다. 실시간 위상각 안정도의 기술에 대하여 고려한다.

1. 서 론

전력계통이 대형화, 복잡화됨과 동시에 대규모 안정적인 공급과 고품질의 전력이 요구되고 있음에도 계통운영 측면의 불확실성은 높아지고 있다.

근래의 광역정전과 계통의 심각한 과급 현상은 개별적인 설비 보호 측면의 보호 개념과 함께 계통전체의 운전성과 신뢰성을 유지하는 계통보호에 대한 개념도 요구되고 있다.

이를 위해 SCADA/EMS에 의한 안정도 평가의 데이터 수집과 장시간 계산의 단점을 보완하기 위한 실시간 On-line 계통안정도 평가 및 보호 시스템으로 WAMS, WACS 및 WAPS는 계통고장과 동요의 동적응답을 실시간으로 제공하고 제어할 수 있는 실시간 광역 계통 감시, 제어, 보호 기술이다.(1)

사고 과급의 방지와 송전용량 증대, 송전설비 활용증대 등의 목적으로 활용되는 실시간 측정기술은

- 실시간 관역계통감시 및 해석(WAMS)
- 실시간 관역계통 제어(WACS)
- 실시간 광역계통 적용형 보호(WAPS) 등으로

측정되는 실시간 정보의 샘플링 시간과 정보 종류, 상태추정, 전압안정도 감시제어, 과도안정도 감시제어, 미소신호안정도 감시제어 등 다양하며 본 논문은 위상각 안정도의 기술에 대하여 검토한다.

2. 본 론

위상각 안정도 계통보호(Angle instability SPS)는 아래와 같은 사항에서 실행되어야 한다.

- 1) 채택된 계통 설계기준이 다중 송전선 운전정지나 변전소 운전정지, 3상사고, 모선사고 등이 고려하여야 할 때
- 2) 드물지만 매우 심각한 사고로부터 계통을 보호하고자 할 때
- 3) 일부 계통 운전정지로 인하여 전력공급의 연속성을 유지할 수 없어 송전 한계를 초과하는 단기 운전이 요구 될 때
- 4) 전력 전송능력의 증가가 요구되어지는 상황에서 환경적 경제적 이유로 인하여 물리적인 송전 요소의 증가가 이루어지지 않을 때
- 5) 현존하는 네트워크의 구성 안에서 계통운영의 안전도 증가가 요구될 때 이다.

충분히 예측할 수 있는 사고임에도 불구하고 전력 전송의 실패로(power failure) 이어져서는 안되고, 모든 일반적인 사고(credible contingencies)하에서는 소비자에 대한 전력공급을 중단할 필요 없이 계통은 운영되어야 한다.

그러나 극히 드문 사고에까지 똑같은 원리를 적용하여 전력공급의 여유분을 만들고자 한다면 경제적인 측면에서 비용을 많이 증가시킬 것이다. 그렇다고 해서 드물지만 매우 심각한 사고에 대한 보호 대책이 없다면 계통 정전으로 인한 손실도 매우 클 것이므로 SPS는 이에 대한 대처 방안을 제공해야 한다.

2.1 위상각, 속도 예측 제어

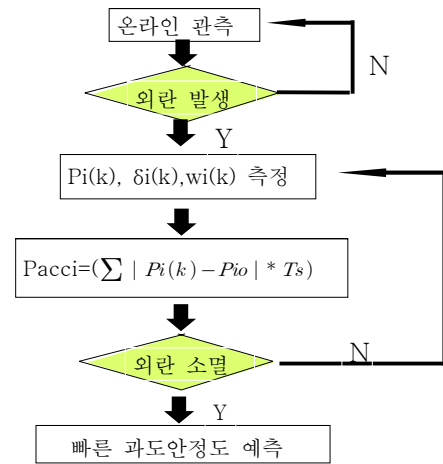


그림 1. 과도안정도 예측

발전기는 매우 큰 관성모멘트를 가지고 있기 때문에 발전기의 각속도 $w(t)$ 는 점진적으로 변화한다. 추정된 w 의 값들을 지나는 곡선을 표시하는 함수가 미래의 값을 예측하기 위하여 사용된다.

$$w_i(t) = w_i(t_2) + a_1(t-t_2) + a_2(t-t_1)(t-t_2) \quad (3)$$

여기서 계수 a_1 과 a_2 는 아래의 식을 이용하여 계산한다.

$$a_0 = (w_i(t_1) - w_i(t_0)) / (t_1 - t_0)$$

$$a_1 = (w_i(t_2) - w_i(t_1)) / (t_2 - t_1)$$

$$a_2 = (a_1 - a_0) / (t_1 - t_0)$$

식 3을 적분하여 전력각 $\delta_i(t)$ 예측하는데 사용한다.

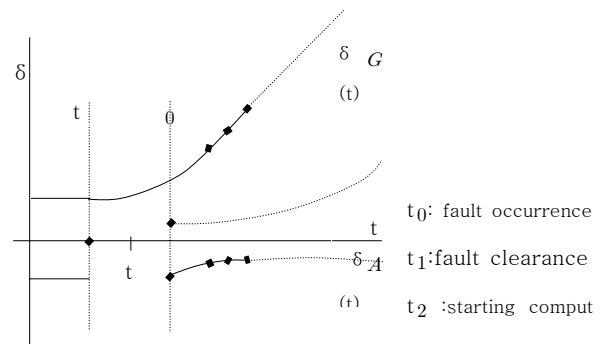


그림 2. 측정값과 예측 위상각 관계

$$\begin{aligned} \delta_i(t) &= \int_{t_0}^t w_i(t) dt + \delta_i(t_0) \\ &= \delta_i(t_0) + w_i(t_2)(t-t_0) + a_1(t^2-t_0^2)/2 \\ &\quad + a_1 t_2(t-t_0) + a_2[(t^3-t_0^3)/3 - (t_1+t_2)(t^2-t_0^2)/2 + t_1 t_2(t-t_0)] \end{aligned} \quad (4)$$

두 발전기 사이의 전력각은
 $\Delta\delta_{pr}(t) = \delta_r(t) - \delta_p(t) + \Delta\delta_{pr}(0)$

운영되는 전력계통에서 취득되는 순시 전압, 전류 데이터에서 전력계통의 정적, 과도적 계통상태의 기하학적 특성이 계통 불안정 결정에 사용되어 계통 안정도 검토에 사용될 수 있다. 고장 후 과도 상태가 놓인 면적의 특성(오목, 볼록)이 on-line 불안정 검출의 평가기법으로서 제시 되었다. 제시된 평가기법의 계산은 발전기 각, 각속도와 그 변화율의 측정만을 요구한다. 이런 측정들은 반복 알고리즘을 이용하여 발전기 단자에서 얻어진다. 기법은 신뢰성이 있고 계산시간이 적어 실시간 과도안정도 평가에 적용될 수 있다.

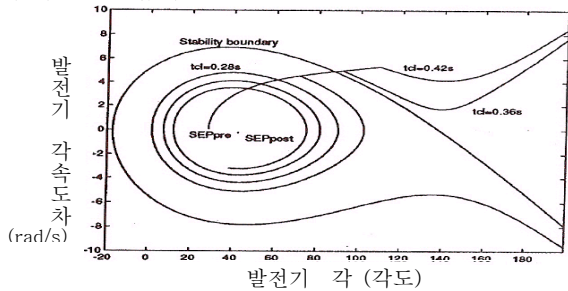


그림 3. 계통의 안정경계와 3상고장 계통궤적

고장제거 후 즉시 또는 짧은 시간 후에 안정 상태는 고장 후 SEP에 대하여 항상 오목하고 불안정한 상태는 고장 후 SEP에 대하여 볼록하게 된다. 이와 같은 과도 불안정도는 고장 후 상태의 곡선검출 식별로 검출 되어진다.

2.2 과도안정도 평가 알고리즘

계통상태의 그림은 고장 후 SEP($\delta^{SEP}, 0$)에서 볼 때 상태가 오목하거나 볼록함을 식별하므로 계통의 안정, 불안정을 판단하게 된다.

$$F(r(t)) = 0$$

여기서 $r(t) = \begin{pmatrix} \delta(t) \\ w(t) \end{pmatrix}$ 의 계통상태를 나타낸다.

($\delta(t), w(t)$) 근처에서 상태가 ($\delta^{SEP}, 0$)점에 대해 오목한가 볼록한가를 결정하기 위해 $\delta(t-\Delta t)$, $\delta(t)$, $w(t-\Delta t)$, $w(t)$ 의 취득 데이터에서 계산된 $w(t+\Delta t)$ 과 전압 값에서 추정된 $w'(t+\Delta t)$ 를 비교하여 상태의 오목, 볼록을 식별하여 안정도를 평가한다.

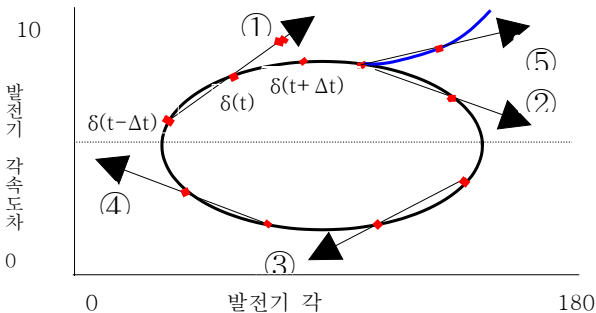


그림 4. 계통상태에 의한 안정, 불안정 판별

발전기 각속도가 0보다 큰 ①과 ②의 직선은 $\delta(t-\Delta t)$, $\delta(t)$, $w(t-\Delta t)$, $w(t)$ 에 의한 기울기로부터 $\delta(t+\Delta t)$ 위상에서 산출된 $w(t+\Delta t)$ 는

$$w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) \text{이고}$$

이것은 전압 값에서 추정된 $w'(t+\Delta t)$ 보다 크다.

즉, $w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) > w'(t+\Delta t)$ 가 된다.

또한, 발전기 각속도가 0보다 작은 ③과 ④의 직선은 $\delta(t-\Delta t)$, $\delta(t)$, $w(t-\Delta t)$, $w(t)$ 에 의한 기울기로부터 $\delta(t+\Delta t)$ 위상에서 산출된 $w(t+\Delta t)$ 는

$$w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) \text{이고}$$

이것은 전압 값에서 추정된 $w'(t+\Delta t)$ 보다 작다.

즉, $w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) < w'(t+\Delta t)$ 가 된다.

위 조건이 만족되면 계통상태가 오목하게 되어 안정으로 판단할 수 있고, ⑤의 경우처럼 불안정한 경우는 직선이 $\delta(t-\Delta t)$, $\delta(t)$, $w(t-\Delta t)$, $w(t)$ 에 의한 기울기로부터 $\delta(t+\Delta t)$ 위상에서 산출된 $w(t+\Delta t)$ 는

$$w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) \text{이고}$$

이것은 전압 값에서 추정된 $w'(t+\Delta t)$ 보다 작다.

즉, $w(t+\Delta t) = \frac{w(t) - w(t-\Delta t)}{\delta(t) - \delta(t-\Delta t)} \delta(t+\Delta t) + w(t) < w'(t+\Delta t)$ 가 된다.

따라서 알고리즘으로 계통 상태의 오목, 볼록이 식별되어 안정, 불안정을 판단하게 된다.

2.3 계통모의 결과

다기계통에서 축약된 1기 무한모선의 모의 계통에서 각 경우를 EMTP로 모의하였다.

고장 발생과 고장 제거 및 재폐로 등 계통 변화 시 계통 안정도 변화를 실시간 취득 데이터에 의해 구현 하였다.

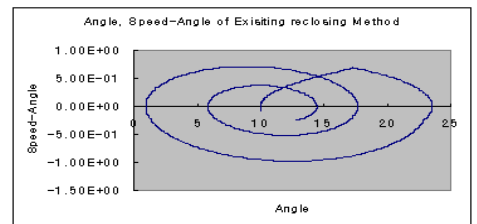


그림 5. 발전기 각-각속도 변화

상정사고에 대한 발전기의 위상각을 나타내는 모의는 같은 조건에서 재폐로 하지 않았을 때와 시간을 달리하며 재폐로 하였을 경우를 비교 하였다.

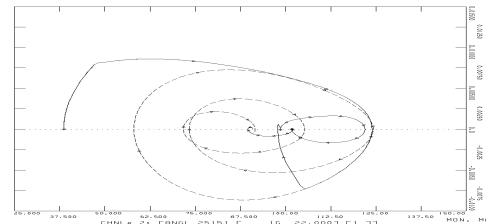


그림 6. 발전기(샘플) Speed-Angle 곡선

3. 결 론

전력산업 분야의 급속한 환경 변화와 근래에 발생한 일련의 대규모 정전 사태를 맞으며 개별 설비보호와 함께 계통전체의 안정성과 신뢰성을 고려하게 된다.

이에 실시간 계통 감시 기술이 적용된 실시간 정보를 이용하여 계통고장과 계통 동요의 동적 특성을 제공받고 제어 방법을 제시하게 된다. 본 논문은 실시간 위상각 안정도 계통보호를 검토해 보았다.

[참고문헌]

- [1] 이병준, 남수철, 김우호, "전기세계", 54권, 제6호, 35-45, 2005년
- [2] Lei Qingsheng, Li Guangxi, Chen yongping, "Real-Time Prediction and Control for Transient Stability of Multi-Machine Power System", IEEE pp. 1361-1363 1998.