

**복소전력의 변화율을 이용한 동기탈조 검출 알고리즘에 관한 연구-Part II:
복소전력의 궤적 변화를 이용한 동기탈조 검출 알고리즘**

권오상*, 김철환*, 박남옥**, 채영무***

성균관대학교*, 차세대전력기술연구센터*, 한국전기연구원**, 충주대학교***

A Study on the Out-of-Step Detection Algorithm using Time Variation of Complex Power-Part II: Out-of-Step Detection Algorithm using a trajectory of Complex power

O.S. Kwon*, C.H. Kim*, N.O. Park**, Y.M. Chai***

Sungkyunkwan University*, NPT Center*, KERI**, Chungju National University***

Abstract - In a power system, an out-of-step condition causes a variety of risk such as serious damage to system elements, tripping of loads and generators, mal-operation of relays, etc. Therefore, it is very important to detect the out-of-step condition and take a proper measure. Several out-of-step detection methods have been employed in relays until now. Most common method used for an out-of-step detection is based on the transition time through the blocking impedance area in R-X diagram. Also, the R-R dot out-of-step relay, the out-of-step prediction method and the adaptive out-of-step relay using the equal area criterion (EAC) and Global Positioning Satellite (GPS) technology have been developed. This paper presents the out-of-step detection algorithm using the time variation of the complex power. The complex power is calculated and the mechanical power of the generator is estimated by using the electrical power, and then the out-of-step detection algorithm, which is based on the complex power and the estimated mechanical power, is presented. This algorithm may detect the instant when the generator angle passes the Unstable Equilibrium Point (UEP). The proposed out-of-step algorithm is verified and tested by using Alternative Transient Program/Electromagnetic Transient Program (ATP/EMTP) MODELS.

1. 서 론

전력계통에서의 동기탈조 현상을 검출, 저지하기 위한 기존의 검출 알고리즘에서는 피상 임피던스 궤적의 추적을 통하여 동기탈조 검출 영역 통과 시 이를 검출하기 때문에 정확한 동기탈조 발생시점의 검출이 어렵고 빠른 속도로 진행되는 동기탈조 현상의 경우 고장파 동기탈조의 구분이 어렵기 때문에 계전기의 오동작 확률이 높다 할 수 있다[1-3]. 이러한 경우를 고려할 경우, 과도안정도를 고려하여 계통에 외란 발생시 적절한 보호동작을 수행할 수 있는 새로운 형태의 동기탈조 검출 알고리즘의 개발이 필요하다.

본 논문은 계전점에서 측정된 복소전력의 궤적을 이용하여 발전기 기계적 입력과 비교, 과도안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘을 제시 하였다. 제시된 알고리즘을 통하여 측정된 유효전력과 무효전력의 순간 변화율을 이용하여 SEP(Stable Equilibrium Point)와 UEP(Unstable Equilibrium Point)를 구분하였다. 본 논문에서 제시된 알고리즘은 기존의 동기탈조 검출 알고리즘에서의 문제점인 느린 검출 속도와 부정확한 검출 시점을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서 제시된 알고리즘은 ATP/EMTP MODELS[4-8]를 사용하

여 구현 되었다.

2. 새로운 동기탈조 검출 알고리즘

2.1 복소전력 변화율을 이용한 동기탈조 검출 알고리즘

다음 그림 1과 2, 3은 안정된 전력동요 현상과 불안정한 전력동요 현상인 동기탈조 현상발생시 전력-상차각 곡선(P-δ)과, 복소전력의 궤적(Q-P), 무효전력의 변화량-유효전력(ΔQ-ΔP)의 변화량을 보여주고 있다.

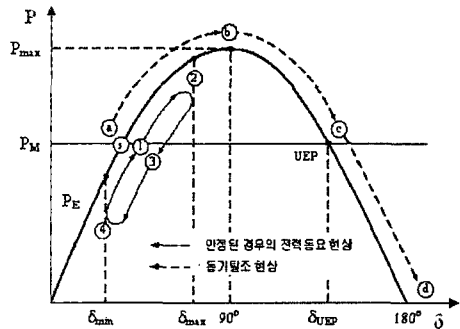


그림 1 전력동요 현상 발생시 전력-상차각 곡선

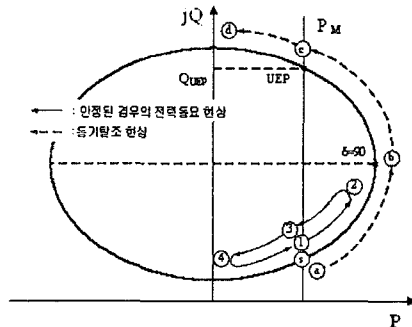


그림 2 전력동요 현상 발생시 복소전력의 궤적

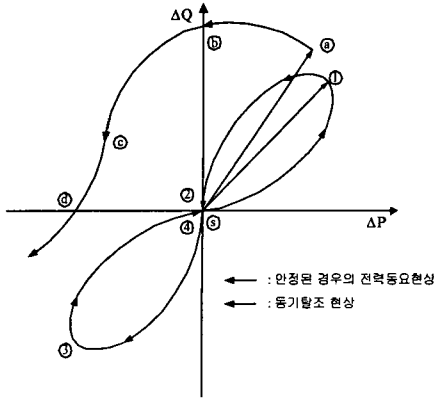


그림 3 전력동요 현상 발생시 복소전력의 시간당 변화율 곡선

⑤ 지점의 안정된 상태에서 운전 되고 있던 계통에 외란이 발생하여 전력동요 현상이 발생되게 되면 안정된 경우는 ①로, 동기탈조 현상의 경우는 ④로 이동하게 된다. 안정된 전력동요 현상이 발생한 경우 그림 1, 2, 3에서 ①, ②, ③, ④ 순으로 궤적이 이동하게 되며, 동기탈조 현상 발생시에는 ①, ②, ③, ④ 순으로 궤적이 이동하게 된다. 상차각 δ 가 UEP 지점을 통과하게 되면 무효전력과 유효전력의 변화율 곡선은 그림 3의 2사분면에 위치하게 되고 전기적 출력 P_E 가 기계적 입력인 P_M 을 초과하게 되면 그림 3의 ③ 지점에 위치하게 된다. 이를 이용하여 동기탈조 시점은 전기적 출력 P_E 가 기계적 입력인 P_M 을 초과하고 $\Delta Q > 0$ 이고 $\Delta P < 0$ 인 지점에서 검출하면 된다.

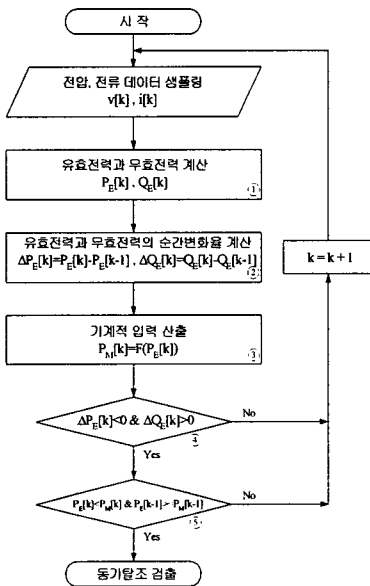


그림 4 동기탈조 검출 순서도

그림 4는 동기탈조 검출 알고리즘의 순서도를 보여주 고 있다. 계통에서 측정된 전압과 전류는 ①번 블록에서 발전기 전기적 출력인 유효전력과 무효전력으로 계산된

다. 이렇게 계산된 유효전력과 무효전력을 이용하여 ②번 블록에서 복소전력의 순간 변화율(ΔQ , ΔP)을 계산한다. ③번 블록에서는 발전기 전기적 출력과 필터를 이용하여 발전기 기계적 입력을 산출한다. 상기 ②, ③번 블록에서 계산된 복소전력의 순간 변화율과 기계적 입력을 이용하여 ④, ⑤번 블록에서 동기탈조 상황을 검출한다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 방법

복소전력의 시간당 변화율을 이용하여 동기탈조를 검출하기 위한 알고리즘의 검증을 위하여 시뮬레이션에 사용된 계통은 그림 5와 같다. 계통 전압은 345kV이고 Relay는 BUS1에 연결되어 있다. BUS1과 BUS2 사이의 거리는 100km이며 구간의 50% 지점인 50km지점에서 3상 고장이 발생하였으며 15주기 이후 고장이 제거 되었다. BUS1과 BUS2의 초기 상차각은 30°이다. 계통상에 사용된 발전기 G1은 ATP/EMTP의 EMTP Type-59 동기기 모델과 TACS를 사용한 조속기, 여자기 모델을 사용하여 22kV 전압과 6300MVA 용량의 울진 N/P를 모델링하였다[4-8].

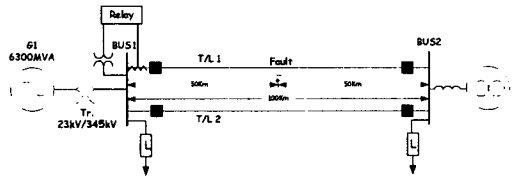


그림 5 1기 무한모선계통 모델

3.2 동기탈조 현상 발생 시 알고리즘 적용

그림 5와 같은 계통 모델에서 50% 지점 고장 발생 시, 다음 그림 6에서 복소전력의 변화율인 ΔP 가 (+), ΔQ 가 (-)로 변하는 지점에서 동기탈조 현상이 검출됨을 확인 할 수 있다. 다음 그림 7은 복소평면상에서 복소전력의 궤적과 필터를 이용하여 산출된 발전기 기계적 입력을 이용하여 SEP와 UEP 지점이 검출됨을 보여주고 있다. 다음 그림 8은 동기탈조가 검출 되는 지점에서의 실제 발전기 각이 125임을 보여주고 있다.

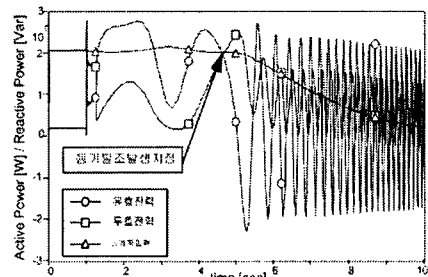


그림 6 동기탈조 현상 발생시 시간에 따른 전력의 변화 (A지점 고장 발생, 고장 발생시간 1초, 고장지속시간 15주기)

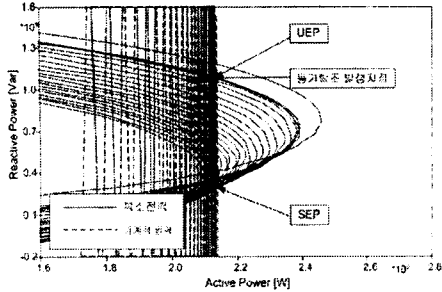


그림 7 복소평면상에서 복소전력과 기계적 입력의 궤적 (A지점 고장 발생, 고장 발생시간 1초, 고장지속시간 15주기)

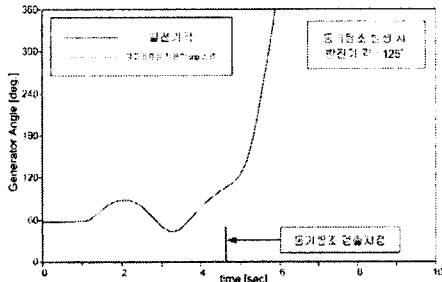


그림 8 시간에 따른 실제 발전기 각도변화와 알고리즘을 적용한 동기탈조 검출 신호 (A지점 고장 발생, 고장 발생시간 1초, 고장지속시간 15주기)

3.3 기존 동기탈조 검출 알고리즘과 새로운 동기탈조 검출 알고리즘의 비교

동일한 조건에서 R-X 평면상에서 파상 임피던스 궤적을 통한 single blinder 방법을 사용한 경우와 위에서 제시된 복소전력 변화율을 이용한 방법을 비교하여 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1 기존 동기탈조 검출 알고리즘과 비교

	기존의 알고리즘		새로운 알고리즘	
	발전기 각	검출 시간	발전기 각	검출 시간
15 주기	222.5°	5.22초	125°	4.61초
20 주기	225.6°	3.02초	113.5°	2.04초

표 1에서 볼 수 있듯이 새로이 제시된 동기탈조 검출 알고리즘이 기존의 R-X 평면에서 single blinder를 사용한 경우보다 더욱 빠르고 안정적인 발전기 각에서 동기탈조 상황을 검출할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 Part I에서 언급된 복소평면에서의 복소전력의 궤적변화를 이용하여 과도안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘을 제시하였다. 계전점에서의 측정된 복소전력의 이전 값과 현재 값을 이용하여 복소전력의 시간당 변화율을 측정하였다. 이를 이용하여 과도안정도를 고려한 복소전력의 궤적에서 UEP 지점을 정확히 검출하여 동기탈조 발생 지점을 검출 하였다.

본 논문에서 제시된 동기탈조 검출 알고리즘은 R-X 평면에서 파상 임피던스의 궤적 추적을 이용한 기존의 방법에 비하여 빠른 속도로 정확하게 동기탈조 지점을 검출할 수 있으며, 이는 계통상에서 안정도 유지를 위한 이점을 제공한다.

결과적으로 제시된 알고리즘을 사용하여 계통상에서의 동기탈조현상에 정확히 대처하고 계전기 오동작을 방지함으로써 안정적이고 신뢰성 있는 계통운영이 기대된다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Demetrios Tziouvaras, "Power System Stability and Relaying", IEEE PSRC Meeting, Jan. 2003.
- [2] P. M. Anderson, Power System Protection, IEEE Press, 1997, pp. 853-905.
- [3] Gustav Steynberg, "Power Swing Detection", SIEMENSAG PTD SIPROTEC4, Mar. 2001.
- [4] Chul-Hwan Kim, Myung-Hee Lee, R. K. Aggarwal, A. T. Johns, "Educational Use of EMTP MODELS for the Study of a Distance Relaying Algorithm for Protecting Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 15, no. 1, pp. 9-15, Feb. 2000.
- [5] J.Y. Heo, C.H. Kim, R.K. Aggarwal, "Simulation of the Distance Relay using EMTP MODELS", KIEE International Transactions on Power Engineering, vol. 4-A, no. 1, pp. 26-32, Mar. 2004.
- [6] Sang-Pil Ahn, Chul-Hwan Kim, R. K. Aggarwal, A. T. Johns, "An Alternative Approach to Adaptive Single Pole Auto-reclosing in High Voltage Transmission Systems based on Variable Dead Time Control", IEEE Tran. on Power Delivery, vol. 16, no. 4, pp. 676-686, Oct. 2001.
- [7] Chul-Hwan Kim, Hyun Kim, Young-Hun Ko, Sung-Hyun Byun, R. K. Aggarwal, A. T. Johns, "A Novel Fault-detection Technique of High-Impedance Arcing Faults in Transmission Lines using the Wavelet Transform", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 17, no. 4, pp. 921-929, Oct. 2002.
- [8] C. H. Kim, J. Y. Heo, R. K. Aggarwal, "An Enhanced Zone 3 Algorithm of a Distance Relay using Transient Components and State Diagram", IEEE Tran. on Power Delivery, vol. 20, no. 1, pp. 39-46, Jan. 2005.