

전력시스템 고조파 상태추정 지능형 알고리즘 개발

왕용필*, 한형주*, 정형환*, 김상효*, 박희철**, 정동일**
*동아대학교, **한국전력연구원, ***동의공업고등학교

Intelligent Algorithm of Harmonic State Estimation for Power System

Yong-P Wang*, Hyeng-J Han*, Hyeng-H Chong*, Sang-H Kim*, Hee-C Park**, Dong-I Chong**
*Dong-A University, **KEPCO, **Dong-Eui Technical High School

Abstract - The design of a measurement system to perform Harmonic State Estimation (HSE) is a very complex problem. In particular, the number of harmonic instruments available is always limited. Therefore, a systematic procedure is needed to design the optimal placement of measurement points.

This paper presents a new HSE algorithm which is based on an optimal placement of measurement points using Genetic Algorithms (GAs). This HSE has been applied to the Simulation Test Power System for the validation of the new HSE algorithm. The study results have indicated an economical and effective method for optimal placement of measurement points using Genetic Algorithms (GAs) in the Harmonic State Estimation (HSE).

1. 서론

최근 전력시스템에서 고조파 문제에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 이는 전력시스템에 연결된 비선형 부하들의 증가로 인한 정상상태의 전류와 전압이 비정현 전류와 전압으로 구성된 고조파의 발생으로 인해 정현파가 왜곡되기 때문이다. 전력시스템에서 고조파 왜곡은 전기 설비의 과열과 파괴, 보호 장치의 오동작 그리고 통신 회로들의 간섭과 같은 연속된 문제점을 발생되어 소비자들에게 공급되는 전기의 품질을 저하시킨다. 이와 같은 고조파를 제거하거나 또는 제한하기 위해 전력시스템의 전역에 걸쳐서 고조파 위치와 크기에 대한 모든 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 능률적인 방법에 관한 연구가 필요하다. 전력시스템에서 고조파 상태 추정(Harmonic State Estimation : HSE)은 모선과 선로의 부분 혹은 전체를 선택하여 고조파를 측정함으로써 실제시스템의 고조파 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 경제적인 기법이다[1,2]. 그러나 전력시스템에서 고조파 상태 추정을 수행하기 위해 측정 시스템을 설계하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 이런 복잡한 문제는 시스템의 크기, 측정기에 필요한 정확도의 불일치, 데이터 통신고장과 변환기에 존재하는 잡음, 네트워크 위상 변화의 적응성과 비용의 최소화에 의존한다. 또한 고조파 측정 장비 비용의 감소에 따른 추정을 신뢰할 수 있어야 한다. 또한 고조파 추정을 위해 사용가능한 측정 장비인 연속 실시간 고조파 해석 장비의 수량은 비용으로 인해 제한되어 있다. 그러므로 고조파 상태 추정을 수행하기 위한 최적 측정위치를 선정하는 체계적인 방법이 필요하다[1-4].

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 최적 탐색기법인 유전알고리즘(Genetic Algorithms : GAs)을 이용해서 최적 측정위치를 선정하는 새로운 지능형 HSE를 제안하였다.

제안한 지능형 HSE 알고리즘의 타당성을 입증하기

위해 전력시스템에 적용하여 고조파 상태 추정을 수행하였다. 이때 측정위치를 초기 측정 위치를 선정한 경우, 개선된 측정 위치를 선정한 경우 및 지능형 알고리즘을 이용하여 측정위치를 선정한 경우에 고조파 상태 추정을 수행하여 비교·검토 하였다. 고조파 상태 추정 결과 세 경우 모두 상태 추정오차는 최소화 되었다. 그러나 지능형 알고리즘을 이용하여 측정위치를 선정한 경우가 초기 측정위치를 선정한 경우 및 개선된 측정 위치를 선정한 보다 측정 장비가 최소화 되었다. 이상에서 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 지능형 알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정은 매우 경제적이고 효과적인 방법임을 나타내었다.

2. 고조파 상태추정

전력시스템에서의 상태 추정은 1960년대부터 기본 주파수에서 전력주류에 대한 연구로부터 시작되었다. 초기의 상태 추정은 모든 전류와 전압 파형이 일정한 주파수와 크기만을 가지는 순수한 정현파이고, 평형 3상조건인 대칭 전력시스템에 국한하였다. 그러나 최근에는 그림 1에 기술된 것과 같이 고조파 상태 추정(HSE) 및 고조파 성분 식별(identification)에 관한 연구가 확장되어 이루어지고 있다. 그러나 대규모 전력시스템에서 모선 선로에 대한 전압 및 전류 파형과 주파수 성분을 추정하기 위하여 전체 시스템을 측정한다는 것은 불가능하다. 따라서 전력시스템 상태 추정을 위한 부분적 측정에 의해 시스템 분석이 필요로 한다.

2.1 고조파 상태 모델...

고조파 상태 추정(Harmonic State Estimation : HSE)은 한정되어 있는 측정된 고조파 전류 및 전압의 데이터로부터 전력시스템에 대한 고조파 상태를 추정하기 위한 것이다. 그리고 고조파 상태 추정에서 고조파 상태 변수를 선택하기 위해 성능평가 기준 및 측정위치 선택 그리고 측정된 수량을 모두 고려하여야 한다.

고조파 상태 변수 모델은 선택된 모선과 선로를 동기화되어진 측정 장비의 측정데이터로부터 전력시스템의 고조파 정보를 추정하기 위해 시스템의 전반적인 고조파 상태 추정을 수학적으로 공식화하는 것이다.

고조파 상태 변수 모델은 선택된 모선과 선로를 동기화되어진 측정 장비의 측정데이터로부터 전력시스템의 고조파 정보를 추정하기 위해 시스템의 전반적인 고조파 상태 추정을 수학적으로 공식화하는 것이다.

2.2 고조파 상태 해석.....

관측성 해석(Observability Analysis : OA)은 고조파 상태 추정을 실행할 수 있는지 없는지를 식별하는데 필수적인 해석법이다. 따라서 관측성 해석은 고조파 상태 추정에서 측정 장비의 설치를 위해 전력시스템의 위상적 관측을 해석하는 것이다. 이는 모든 관측성 보조 시스템에 대한 정보, 중복된 측정에 대한 정보 및 모든 시스템을 관측할 수 있는 새로운 측정을 추가하는 방법

을 제시한다. 따라서 관측성 해석은 고조파 상태 추정 및 측정 장비의 최적화를 위해 매우 중요하다. 관측성 해석에 대한 수학적인 기본 개념은 선형 측정 상태 변수 모형에서

$$Z = HX + \epsilon \quad (1)$$

2.3. 유전 알고리즘을 이용한 측정위치 선정...

전력시스템에서 고조파 상태 추정은 모선과 선로의 부분 혹은 전체를 선택하여 고조파를 측정함으로써 실제 시스템의 고조파 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 경제적인 기법이다. 그러나 전력시스템에서 고조파 상태 추정을 수행하기 위해 측정 시스템을 설계하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 이런 복잡한 문제는 시스템의 크기, 측정 장치에 필요한 정확성의 불일치, 데이터 통신고장 및 변환기에 존재하는 잡음, 네트워크 위상변화의 적응성과 비용의 최소화에 의존한다. 이러한 복잡한 측정 시스템을 설계하기 위하여 측정위치 선정을 최적화하는데 유전알고리즘을 이용하였다.

본 논문에서 고찰되는 최적화 목적은 고조파 상태 추정에 있어서 고조파 측정 장비의 비용과 상태 추정 오차를 최소화 할 수 있는 측정위치를 최적화시키는 것이다. 따라서 최적화 하고자 하는 파라미터는 고조파 상태를 측정할 수 있는 측정위치이므로 측정할 경우에는 "1"로, 측정하지 않을 경우 "0"로 염색체를 구성한다.

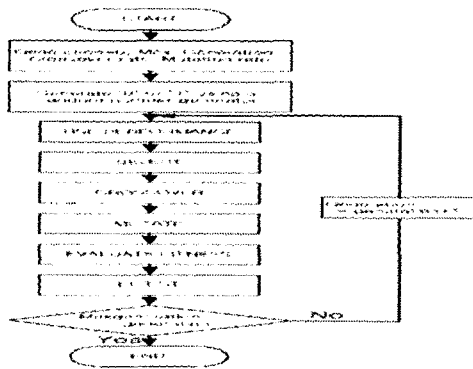


그림 1 유전알고리즘을 이용한 측정위치 선정 알고리즘

3. 사례연구

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 유전알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정에 대한 유용성을 확인하기 위해 그림 2와 같은 전력시스템에 적용하였다. 이 전력시스템은 모선 9개, 선로 8개, 변압기 5개로 구성된 시스템이다. 이 시스템에 있어서 고조파 상태 추정의 수행을 위한 측정 가능한 위치는 각 상의 고조파 전압 및 입력전류가 각각 9곳이다. 그리고 각 고조파 전류는 총 26곳이다. 따라서 총 측정 가능한 곳은 44곳이 된다.

초기 측정 위치를 선정한 경우에 48개의 측정 지점 위치를 그림 2에 나타냈었다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 3, 4에 나타냈었다. 초기 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었다. 또한 시스템 전체를 측정 한 경우보다 많은 측정 위치 지점이 최소화 되었다.

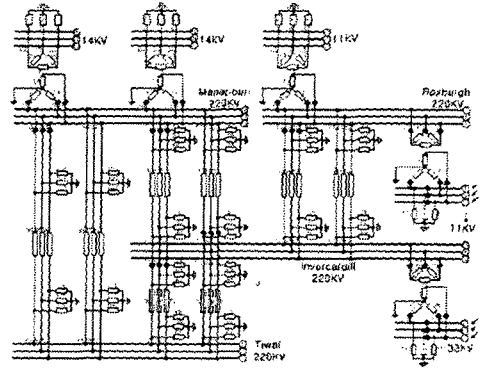


그림 1 초기 측정 위치

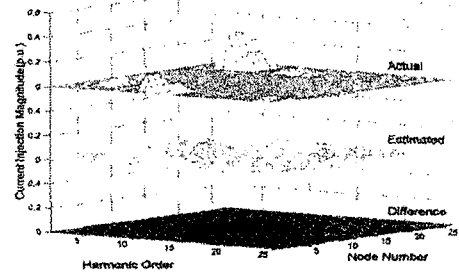


그림 2 고조파 전류 입력 크기

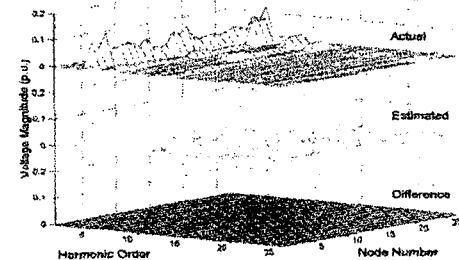


그림 3 고조파 전압 크기

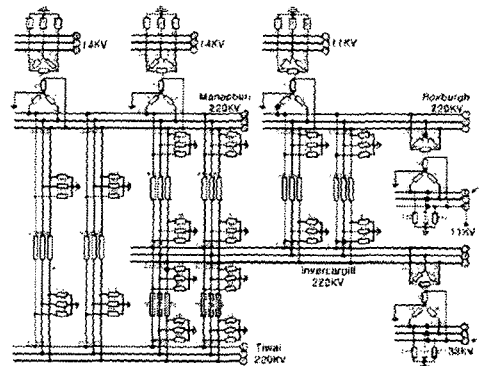


그림 4 개선된 측정 위치

개선된 측정 위치를 선정한 경우에 12개의 측정 지점 위치를 그림 4에 나타냈었다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 5, 4에 나타냈었다. 개선된 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었

다. 또한 초기 측정 위치를 선정한 경우보다 많은 측정 위치 지점이 최소화 되었다.

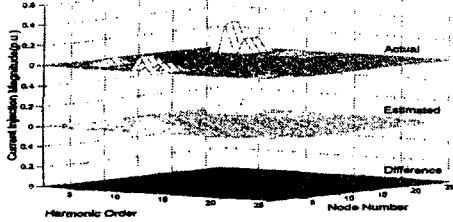


그림 5 고조파 전류 입력 크기

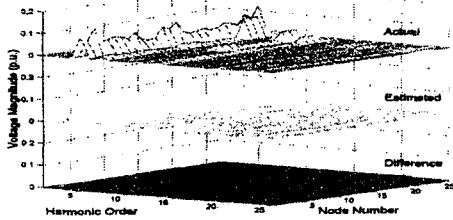


그림 6 고조파 전압 크기

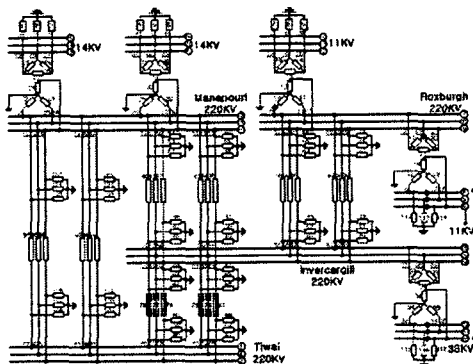


그림 7 지능형 알고리즘을 이용한 측정 위치

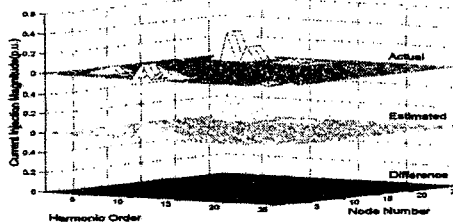


그림 8 고조파 전류 입력 크기

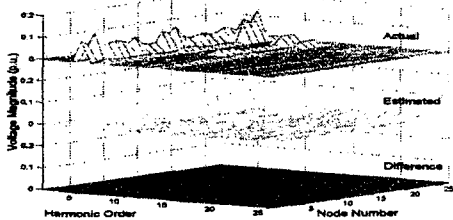


그림 9 고조파 전압 크기
지능형 알고리즘을 이용한 측정 위치를 선정한 경우

에 11개의 측정 지점 위치를 그림 7에 나타냈었다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 8, 9에 나타냈었다. 개선된 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었다. 또한 개선된 측정 위치를 선정한 경우보다 측정 위치 지점이 1개를 줄일 수 있었다. 이상의 결과 제안한 지능형 알고리즘을 이용한 HSE의 우수성을 입증하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정 (Harmonic State Estimation : HSE)에 있어서 최 측정위치 선정에 위하여 지능형 알고리즘을 이용하였다. 제안한 지능형 HSE 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 전력시스템에 적용하여 고조파 상태 추정을 수행하였다. 이 때 초기 측정 위치를 선정한 경우 및 개선된 측정 위치를 선정한 경우에 고조파 상태를 추정을 수행하였다. 본 연구결과는 다음과 같이 나타났다.

1. 제안한 HSE 알고리즘은 실제값과의 오차가 최소화 가 되었다. 따라서 신뢰성 있는 고조파 상태를 추정했다.
2. 제안한 HSE 알고리즘은 초기 측정위치 및 개선된 측정 위치보다 측정위치가 최소화되었다.
3. 제안한 HSE 알고리즘은 고조파 상태를 추정하기 위해 사용되는 측정 장비인 연속 실시간 고조파 해석 장비도 초기 측정위치 및 개선된 측정 위치보다 최소화되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 지능형 알고리즘 이용한 측정위치 선정은 매우 경제적이고 효과적인 방법임을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(02340-17) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] Schweppe, F.C., Wildes, J.C. and Rom, D "Power System Static State Estimation", Part 1, II and III, *IEEE Trans. Power Appar. & Syst.* Vol PAS-89, 1970, pp 120-135.
- [2] Lewis, T.O. and Odell, P.L. "Estimation in Linear Models", *Prentice-Hall, Inc* 1971
- [3] Fetzer, E.E. and Anderson, P.M. "Observability in the State Estimation of Power Systems", *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-94, 1975, pp 1981-1988.
- [4] Heydt, G.T. "Identification of harmonic sources by a state estimation technique", *IEEE Trans. On Power Delivery*, 4, no.1, 1989, pp.569-576
- [5] J. Arrillaga, N.R. Watson, S.Chen, "Power system quality Assessment". *Jhr wiley & sons. Inc* 1996.
- [6] Goldberg, D.E. "Genetic algorithms in search optimization & machine learning", *Addison-Wesley Publishing Co. Inc*, 1989.
- [7] Wang.Y.P, Watson. N.R, Arrillaga. J, Park H.C and Chong H.H. "Harmonic State Estimation : Optimal Placement of Measurements Using Genetic Algorithms", *International Power Quality Conference, Suntec, Singapore*, Vol. 2 of 2, October 2002, pp 534-544.