

고조파 상태 추정에 있어서 유전 알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정

정형환, 왕용필, 이정필, 박희철
 동아대학교 전기전자컴퓨터 공학부

Optimal Placement of Measurements using Genetic Algorithms for Harmonic State Estimation

H.H. Chung, Y.P. Wang, J.P. Lee, H.C. Park
 School of Electrical, Electronics & Computer Engineering, Dong-a University

Abstract - The design of a measurement system to perform Harmonic State Estimation (HSE) is a very complex problem. In particular, the number of available harmonic instruments(Continuous Harmonic Analysis in Real Time : CHART) 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 New Zealand AC 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 GAs in the HSE.

Decomposition : SVD와 널 공간 벡터(Null Space Vector)를 이용하여 HSE을 수행한다. 이러한 HSE 과정을 그림 1에 나타내었다(3,4).

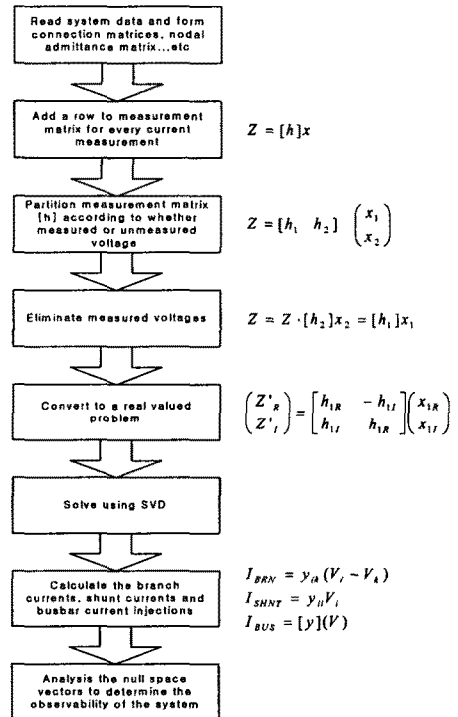


Fig 1. HSE 흐름도

1. 서 론

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]. 전력시스템의 HSE를 수행하기 위하여 측정 시스템을 설계하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 이런 복잡한 문제는 시스템의 크기, 측정에 필요한 정확성의 불일치, 데이터 통신고장과 변환기에 존재하는 노이즈의 확실성, 네트워크 형태 변화의 적응성과 비용의 최소화에 의존한다. 또한 고조파 측정을 위한 사용 가능한 측정 장비인 연속 실시간 고조파 해석 기기(Continuous Harmonic Analysis in Real Time : CHART)의 수량은 제한되어 있다. 그러므로 HSE를 수행하기 위한 최적 측정위치를 선정하는 체계적인 방법이 필요하다.

본 논문에서는 전력시스템의 HSE에 있어서 최적 탐색기법인 유전알고리즘(Genetic Algorithms : GAs)을 이용하여 최적 측정위치를 선정하는 새로운 HSE 알고리즘을 제안하였다.

제안한 HSE 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 뉴질랜드 전력시스템에 적용하여 HSE를 수행하였다. 본 연구결과 전력시스템의 HSE에 있어서 유전알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정은 매우 경제적이고 효과적인 방법임을 나타내었다.

2. HSE

전력시스템의 HSE에 있어서 고가인 고조파 측정 장비의 비용으로 인해 시스템의 전체를 추정 할 수가 없다. 따라서 관측 가능한 위치를 선정하여 측정 시스템 행렬로 구성하고 특이 값 분해(Singular Values

3. GA를 이용한 최적 측정위치 선정

전력시스템 HSE에 있어서 GA를 이용한 최적 측정위치 선정은 설치 기기의 비용과 상태추정 오차를 최소화하기 위한 것이다[5]. 따라서 GA를 이용한 최적위치 선정을 위해 평가 함수는 CHART의 비용과 상태 추정 오차로 식(1)과 같이 구성하고 이 평가 함수를 최소화하고자 한다. 여기서 CHART의 비용은 기본적인 설치 비용(α)과 추가적인 채널의 비용(β)으로 구성하였고, 무한상태 추정오차는 모선전압, 모선전류 및 선로전류 오차로 구성하였다.

$$Min \left\{ J = \sum_{i=1}^n P_i + V_{error} + I_{error} + B_{error} \right\}$$

$$(i=1, \dots, n, n \text{는 모선 수}) \quad (1)$$

$$P_i = \alpha + K \beta, \quad (\alpha = \$20,000, \beta = \$2,000)$$

여기서 P_i 는 각 모선에 대한 CHART의 비용인데 측정치 않을 경우 \$0, K는 추가적인 채널 수, V_{error} , I_{error} , B_{error} 는 상태 추정 결과에서 얻어진 모션전압, 모션전류, 선로전류 오차이다. 적합도는 식(2)과 같이 선정하여 수행하였다.

$$Fitness = \frac{1.0}{1.0 + \text{Min}[J]} \quad (2)$$

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서 전력시스템 HSE를 위해 사용된 시스템은 단상 3기 9모선 뉴질랜드 전력 시스템에 적용하여 나타내었다. 그림 2는 HSE를 초기 측정위치를 선정하는 것이다. 초기 측정위치는 부하측과 인근하는 다른 모션을 고려하여 선정한다. 여기서 전압 측정 모션은 5, 7, 8모선, 입력 전류 측정모션은 2, 4, 5, 6, 7, 8모선이야. HSE를 수행한 결과 모션전압, 모션전류 및 선로전류에는 오차가 0%로 나타났다. 그 결과를 표 1, 2, 3에 실제 값과 추정 값의 모션전압, 전류 및 선로 전류를 비교하여 나타내었다. 그리고 CHART 비용은 2모선, 4모선, 6모선에서는 \$20,000이고 5모선, 7모선, 8모선에서는 \$22,000이므로 전체적인 CHART비용은 \$126,000으로 나타난다.

표 1. 선로전류

NO		Actual		Estimated		Error (%)
		Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1	S	0.000711	162.19	0.000711	162.19	0.00
	R	0.000711	162.19	0.000711	162.19	0.00
2	S	0.001037	-166.90	0.001037	-166.90	0.00
	R	0.001037	-166.90	0.001037	-166.90	0.00
3	S	0.007725	-167.66	0.007725	-167.66	0.00
	R	0.007725	-167.66	0.007725	-167.66	0.00
4	S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
	R	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
5	S	0.006479	-149.50	0.006479	-149.50	0.00
	R	0.006479	-149.50	0.006479	-149.50	0.00
6	S	0.000616	173.17	0.000616	173.17	0.00
	R	0.000521	-140.23	0.000521	-140.23	0.00
7	S	0.000616	173.17	0.000616	173.17	0.00
	R	0.000521	-140.23	0.000521	-140.23	0.00
8	S	0.000246	-160.53	0.000246	-160.53	0.00
	R	0.000295	-118.16	0.000295	-118.16	0.00
9	S	0.000246	-160.53	0.000246	-160.53	0.00
	R	0.000295	-118.16	0.000295	-118.16	0.00
10	S	0.001061	161.62	0.001061	161.62	0.00
	R	0.000959	167.93	0.000959	167.93	0.00
11	S	0.001061	161.62	0.001061	161.62	0.00
	R	0.000959	167.93	0.000959	167.93	0.00
12	S	0.003862	-167.66	0.003862	-167.66	0.00
	R	0.003806	-164.00	0.003806	-164.00	0.00
13	S	0.003862	-167.66	0.003862	-167.66	0.00
	R	0.003806	-164.00	0.003806	-164.00	0.00

표 2. 모션전압

Bus Voltage	Actual		Estimated		Error (%)
	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1 Bus	0.0050	27.1910	0.0050	27.1910	0.00
2 Bus	0.0050	27.1412	0.0050	27.1412	0.00
3 Bus	0.0050	26.1934	0.0050	26.1934	0.00
4 Bus	0.0050	26.8744	0.0050	26.8744	0.00
5 Bus	0.0050	28.0049	0.0050	28.0049	0.00
6 Bus	0.0050	27.5383	0.0050	27.5383	0.00
7 Bus	0.0050	26.8744	0.0050	26.8744	0.00
8 Bus	0.0050	27.2322	0.0050	27.2322	0.00
9 Bus	0.0050	27.3778	0.0050	27.3778	0.00

표 3. 모션전류

Injection Current	Actual		Estimated		Error (%)
	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
4 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
5 Bus	0.0090	25.0000	0.0090	25.0002	0.00
6 Bus	0.0050	10.0000	0.0050	9.9998	0.00
7 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
8 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
9 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

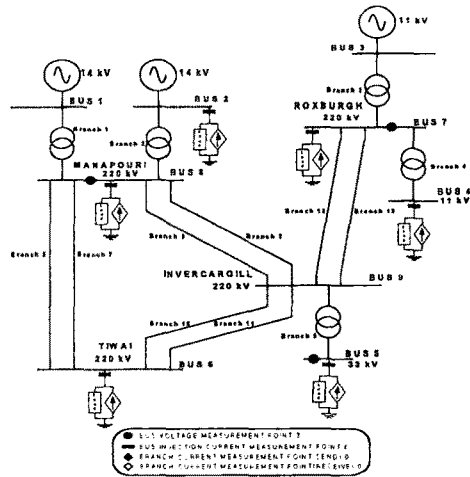


Fig 2. 초기에 선정된 측정위치

그림 3은 전력시스템 HSE를 수행하기 위한 최적 측정위치를 선정하기 위해 GA를 이용하여 최적 측정위치를 선정한 경우를 나타내었다. 여기서 전압 측정 모션은 5, 7, 8, 9모선, 입력 전류 측정모션은 4, 5, 7, 8, 9모선으로 선정되었다. 이는 GA를 이용한 고조파 상태 추정에서 모션에 전압오차, 전류오차, 선로오차가 발생하는 데 라운드 오프 오차에 의한 수치적 오차이기에 널 공간 벡터(Null Space Vector)를 수행하여 전압, 전류의 오차를 0%로 나타냈다. 이를 표 4, 5, 6에 나타내었다. 그리고 CHART 비용은 4모선, 9모선은 \$20,000이며 5모선, 7모선, 8모선, 9모선에서는 \$22,000이므로 초기 측정위치보다 \$18,000 적은 \$108,000의 전

체적인 CHART 비용이 산출되었다.

표 4. 선로전류

NO		Actual		Estimated		Error (%)
		Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1	S	0.000711	162.19	0.000711	162.19	0.00
	R	0.000711	162.19	0.000711	162.19	0.00
2	S	0.001037	-166.90	0.001037	-166.90	0.00
	R	0.001037	-166.90	0.001037	-166.90	0.00
3	S	0.007725	-167.66	0.007725	-167.66	0.00
	R	0.007725	-167.66	0.007725	-167.66	0.00
4	S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
	R	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
5	S	0.006479	-149.50	0.006479	-149.50	0.00
	R	0.006479	-149.50	0.006479	-149.50	0.00
6	S	0.000616	173.17	0.000616	173.17	0.00
	R	0.000521	-140.23	0.000521	-140.23	0.00
7	S	0.000616	173.17	0.000616	173.17	0.00
	R	0.000521	-140.23	0.000521	-140.23	0.00
8	S	0.000246	-160.53	0.000246	-160.53	0.00
	R	0.000295	-118.16	0.000295	-118.16	0.00
9	S	0.000246	-160.53	0.000246	-160.53	0.00
	R	0.000295	-118.16	0.000295	-118.16	0.00
10	S	0.001061	161.62	0.001061	161.62	0.00
	R	0.000959	167.93	0.000959	167.93	0.00
11	S	0.001061	161.62	0.001061	161.62	0.00
	R	0.000959	167.93	0.000959	167.93	0.00
12	S	0.003862	-167.66	0.003862	-167.66	0.00
	R	0.003806	-164.00	0.003806	-164.00	0.00
13	S	0.003862	-167.66	0.003862	-167.66	0.00
	R	0.003806	-164.00	0.003806	-164.00	0.00

표 5. 모션전압

Bus Voltage	Actual		Estimated		Error (%)
	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1 Bus	0.0050	27.1910	0.0050	27.1910	0.00
2 Bus	0.0050	27.1412	0.0050	27.1412	0.00
3 Bus	0.0050	26.1934	0.0050	26.1934	0.00
4 Bus	0.0050	26.8744	0.0050	26.8744	0.00
5 Bus	0.0050	28.0049	0.0050	28.0049	0.00
6 Bus	0.0050	27.5383	0.0050	27.5383	0.00
7 Bus	0.0050	26.8744	0.0050	26.8744	0.00
8 Bus	0.0050	27.2322	0.0050	27.2322	0.00
9 Bus	0.0050	27.3778	0.0050	27.3778	0.00

5. 결론

본 논문에서는 전력시스템의 HSE을 위해 유전알고리즘(Genetic Algorithm : GA)을 이용한 최적 측정위치 선정을 기초로 한 새로운 HSE 알고리즘을 제안하였다. 제안한 HSE알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 뉴질랜드 전력시스템에 GA를 적용하여 HSE을 수행하였다. 본 연구결과 전력시스템의 HSE에 있어서 유전알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정은 매우 경제적이고 효과적인 방법임을 나타내었다. 그리고 제안한 HSE알고리즘은 신뢰성 있는 고조파 상태를 추정했고, 측정 장소를 최소화하였으며, 측정 장소의 최소화에 따른 오차도 최소화되는 결과를 보여 주었다. 이로 인해 고조파

상태를 추정하기 위해 사용되는 CHART기기의 비용도 최소화시킬 수 있었다.

표 6. 모션전류

Injection Current	Actual		Estimated		Error (%)
	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	Mag (P.U.)	Angle (Deg.)	
1 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
4 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
5 Bus	0.0090	25.0000	0.0090	25.0002	0.00
6 Bus	0.0050	10.0000	0.0050	10.0000	0.00
7 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
8 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
9 Bus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

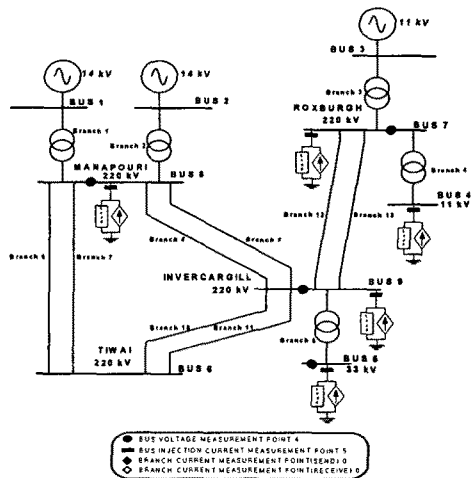


Fig. 3 GA를 이용하여 선정된 최적 측정위치

[참 고 문 헌]

[1] G.T. HEYDT, "Identification of harmonic sources by a state estimation technique", IEEE Trans, PWRD-4,(1), pp.569-576, 1989
 [2] H.M. BEIDES, G.T. HEYDT, "Dynamic state estimation of power system harmonics using Kalman filter methodology", IEEE Trans, PWRD-6,(4), pp.1663-1670, 1991
 [3] Z.P. DU, J. ARRILLAGA, N.R. WATSON, "Continuous harmonic state estimation of power systems", Proc. IEE, C, 143, (4), pp.329-336, 1996.
 [4] J. Arrillaga, N.R. Watson, S.Chen, "Power system quality Assessment", 1996
 [5] D.E. Goldberg, "Genetic algorithms in search optimization & machine learning", Addison-Wesley Publishing Co. Inc, 1989.