

Software Fault Tolerance를 이용한 송전선로의 고장점 표정 알고리즘

Fault Location Algorithm using Software Fault Tolerance

장용원*, 한승수**, 김원하***

차세대전력기술연구센터

*차세대전력기술연구센터 연구원(전화:(031)330-6761, 팩스:(031)335-6478, E-mail : jang122@orgio.net)

**명지대학교 정보제어공학부(전화:(031)330-6761, 팩스:(031)335-6478, E-mail : shan@mju.ac.kr)

***경희대학교 전자정보대학 전자공학전공(전화:(031)201-2030, 팩스:(031)206-6175, E-mail : wonha@khu.ac.kr)

Abstract : This paper use fault location algorithm for single-phase-to-ground faults on the teed circuit of a parallel transmission line that use only local end voltage and current information. When Newton-Raphson iteration method is used, the initial value may cause error or cause not suitable result. Suggested new calculation model uses NVP methodology, which is one of the fault tolerance technology to solve this problem. EMTP simulation result has shown effectiveness of the algorithm under various conditions.

Keywords : Fault tolerance, NVP, GA, Newton-Raphson

I. 서론

송전선로에서 발생하는 각종 계통함수 정보를 상시 감시하여 고장발생시 신속한 고장복구를 위하여 정확한 위치를 찾아주는 고장점 표정 장치는 전력계통에 중요한 항목으로 대두되었다[1].

송전선로 상에서 고장발생시 고장점까지의 거리를 계산하는 고장점 표정알고리즘은 최근 십여년 동안 활발히 연구되어왔다. 적용대상 계통은 크게 1회선 계통[2], 병행 2회선 계통[3], 분기점을 갖는 다단자 계통[1][4], 2회선 계통에서 건전회선의 영상분 전류를 이용한 방법으로 구분할 수 있다[5]. 병행 2회선으로 가설된 송전선로의 한 회선이 T분기된 경우 분기되지 않은 회선 1선 지락 사고 발생시 자기단의 정보만을 이용한 방법도 발표되고 있다[6].

알고리즘[6]을 기반으로 유도된 거리방정식은 시간함수이며 미지수가 2개인 3차 복수 비선형방정식으로 해를 구하는 방법으로 Newton-Raphson 반복 계산법을 이용했다. 이 방법은 계산할 때 변수의 초기값을 결정해주어야 하며 결정된 초기값에 따라 계산 결과의 수렴 여부가 결정되는 계산 방법 자체의 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 software fault tolerance 기술을 이용한다. 이는 소프트웨어적인 고장이 시스템 일부에 발생하더라도 시스템 전체가 그 영향으로 고장나지 않게 처리하는 기술로 일부 고장에는 대처해 주는 기능을 수행하도록 처리하는 기술이다[7].

본 논문에서는 Software fault tolerance 기술 중에 NVP(N-version programming) 알고리즘을 이용하여 새로운 비선형방정식을 계산하는 방법을 제시한다[7]. NVP 알고리즘에 사용할 비선형방정식의 계산법으로는 GA(Genetic Algorithms)를 이용하여 변수의 초기값을

결정한 후 Newton-Raphson 반복법을 이용하는 방법과 GA의 세대 배양을 통한 계산한 결과를 비교하여 좋은 결과를 찾는 방법을 제안한다[8].

제안한 방법의 실험은 알고리즘[6]에서 언급한 조건대로 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)를 통해 데이터를 얻었다. 실험결과를 보면 변수의 초기값의 영향을 받지 않으면서 논문[6]과 비슷한 결과를 얻을 수가 있다.

II. 고장점 표정 알고리즘

알고리즘[6]에서 제안한 1회선 분기점을 갖는 병행 2회선 송전선로의 방정식은 식 (1)과 같은 거리 l 와 저항 R_f 에 관한 3차 방정식으로 유도된다. 성분 α 는 시간에 따른 상수로 구할 수 있다.

$$a_3 b^3 + a_2 b^2 + a_1 b + s_1 R_f b + a_0 + s_0 R_f = 0 \quad (1)$$

거리 방정식을 계산하여 사고 지점 l 를 찾는 과정은 그림1과 같다. DFT(Discrete Fourier Transform)를 사용하여 영상분 회로에서 전압과 전류를 계산한 후 타회선의 영상 전류와 고장 전류를 알기 위해 분배계수를 이용한다. 구한 전압과 전류를 이용하여 비선형 3차 거리 방정식을 유도한다.

고장 위치를 찾기 위해 비선형 3차 방정식을 계산해야 한다. 보통 사용하는 계산법으로 Newton-Raphson 반복법을 이용한다.

하지만 Newton-Raphson 방법은 초기값을 어떤값을 선택하느냐에 따라 그 결과에 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 GA를 사용하여 global solution의 영역을 탐색한 후, 그 영역에 있는 점을 초기값으로 사용하게 되면 Newton-Raphson 방

법의 결과를 향상시킬 수 있게 된다.

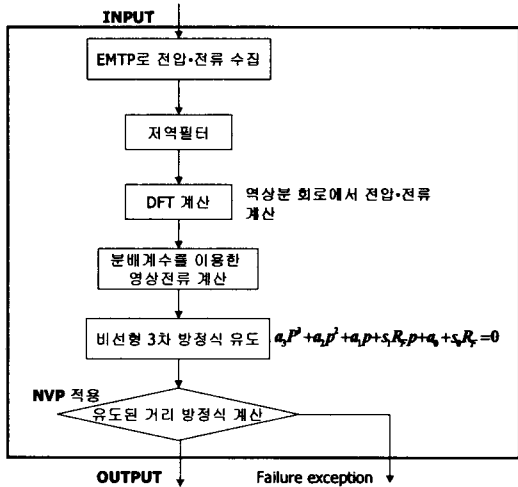


그림 1. 1회선 분기점을 갖는 병행 2회선 송전선로의 계산 과정

III. 제안한 NVP 계산법

그림 1은 논문[6]에서 제안한 순서를 블록도로 표시한 것이다. 계산 순서 중 비선형 3차 방정식을 유도하는 과정까지는 기존 과정에 준하여 구현한다. 본 논문에서 제안한 새로운 비선형방정식의 계산 모델은 그림 1의 과정 중에 유도된 거리방정식 계산 과정에 속한다. 제안한 모델은 기존에 사용한 Newton-Raphson 반복 계산법에 GA 방법을 추가하여 Newton-Raphson 반복법이 갖고 있는 초기값 문제를 해결했으며, GA를 이용한 계산 결과와 비교하여 보다 정확한 결과를 선택할 수 있도록 N-Version Programming (NVP) 모델을 제안했다. NVP는 N개의 각기 다른 programming module을 동일한 문제에 적용시켜서 각각의 결과를 비교하여 오류가 있는 module의 값을 버리고, 정확한 결과를 나타낸 module의 값을 취하는 방법이다.

본 연구에서 사용한 NVP 기법에서, Newton-Raphson 반복법과 GA의 두 개의 각기 다른 module을 사용하였다. 각 module은 먼저 GA에 의해서 초기 global solution 영역을 탐색한 후, 여기서 선택한 값을 각 모듈의 초기값으로 사용하여 진행하였다. 두 개의 모듈을 사용했기 때문에 두 모듈이 서로 다른 결과를 나타냈을 경우에는 어느것의 결과가 옳은지를 판단해야 한다. 이러한 판단을 DM(Decision mechanism)이라 하며, 본 연구에서는 두 개의 결과 중에 식(1)을 0으로 만드는 결과를 선택하도록 했다.

그림 2는 그림 1에서 유도된 거리 방정식 계산 과정을 NVP 알고리즘을 적용한 새로운 모델이다. 식 (1)에 해당하는 상수들을 계산하기 위해 다음과 같이 계산한

다.

- 과정 1. 식 (1)에 해당하는 상수를 계산한다.
- 과정 2. 입력받은 데이터를 가지고 GA를 구한다.
- 과정 3. 첫 세대에 구한 GA 결과를 이용해서 Newton-Raphson 반복법을 계산한다.
- 과정 4. 과정 3의 결과를 받아 GA를 300세대를 재생성하여 결과를 계산한다.
- 과정 5. 과정 3과 4에서 계산한 3개의 결과 중에 식 (1)을 만족하는 값을 취한다.

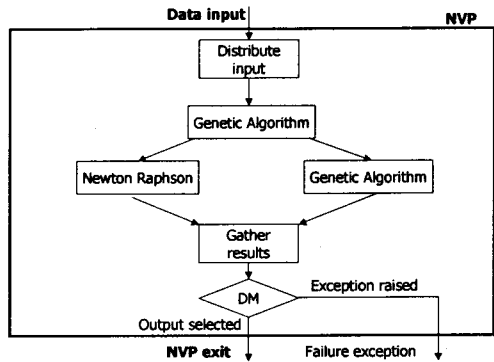


그림 2. 거리 방정식을 계산하기 위한 NVP 모델

IV. 실험 과정 및 결과

본문의 알고리즘을 검증하기 위해 EMTP를 사용하여 154[kV] 병행회선길이 25[km]의 계통에서 사고모의를 하였다. 선로전체를 1로 하는 [pu]단위를 사용한다. GA의 조건은 300세대를 재생성하고 임체체의 길이는 15비트를 사용하며 최소화 문제로 적용했다.

그림 3은 분기점의 위치와 사고지점의 변화에 따른 고장점 표정 오차의 추이를 나타낸다. 고장거리는 측정점으로부터 분기점까지의 거리를 1로 하여 단계별 [pu]로 변화 시켰다. 사고위치는 0.1, 0.5, 0.9[pu] 3단계로 나누었으며 분기점의 위치는 0.2, 0.8[pu] 2단계로 나누어 계산한다. 제안한 새로운 계산 모델을 이용한 결과 그림 3과 같이 0.03[%] 미만의 범위 내로 정확성을 보였다. 기존 연구 결과를 보아도 정확도가 0.03[%] 미만을 유지하고 있다.

그림 4는 고장저항이 개입된 경우 고장저항의 크기에 따른 오차의 변화추이를 나타낸다. 사고위치는 0.1, 0.5, 0.9[pu] 3단계로 나누었으며 분기점의 위치는 0.2[pu]로 고정일 때 고장 위치의 오차를 계산한다. 고장 저항이 개입된 경우에는 고장 거리가 멀어질수록 오차가 증가함을 알 수가 있다.

기존 연구와 비교해볼 때 같은 특성을 보이고 있어 새로운 계산 모델이 시스템에 미치는 영향은 없으며 논문의 목적대로 Newton-Raphson 반복법으로 계산할

때와 거의 같은 수준의 정확도를 보이고 있다. 즉 Newton-Raphson 반복법이 갖는 변수의 초기값 설정에 따라 발생할 수 있는 문제를 해결하면서 계산된 결과는 기존 연구와 거의 비슷한 정확도를 얻을 수 있다.

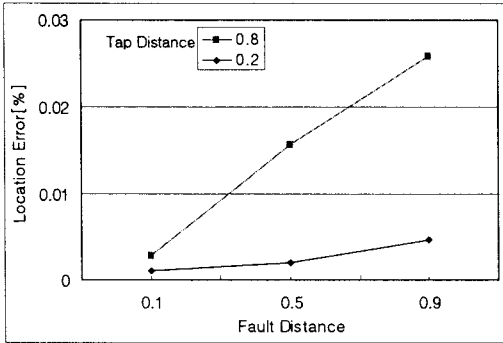


그림 3. 분기점 위치 및 사고위치에 따른 오차

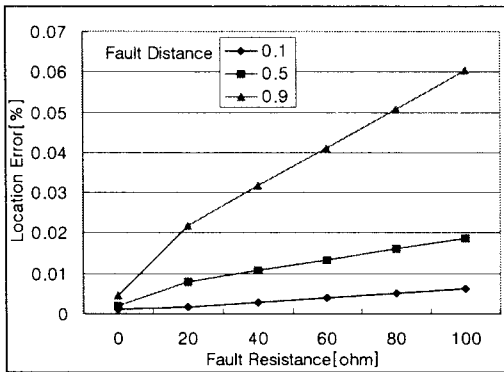


그림 4. 분기점 위치가 0.2[pu]일 때 고장 저항에 따른 오차

V. 결론

본 논문은 자기단의 전압·전류 신호만을 이용한 병렬 2회선 송전 계통중 한 회선이 분기된 계통에서의 고장점 표정 알고리즘을 계산할 때 사용하는 Newton-Raphson 반복법이 갖는 변수의 초기값 설정에 따른 문제를 해결하기 위해 새로운 계산 모델을 제안한다. 변수의 초기값 문제를 해결하기 위해 fault tolerance 기술 중에 NVP를 이용한 새로운 계산 모델을 제안한다. 제안한 모델의 실험은 EMTP를 이용하여 데이터를 얻어 실험한 결과 제안한 모델의 사고위치에 따른 오차 범위가 기존 연구와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. Newton-Raphson 반복법만을 이용한 기존 알고리즘은 항상 변수의 초기값을 설정해주어야 하는 오차의 원인을 내포하고 있었으나 이번에 제안한 새로운 계산 모델은 이런 문제를 해결했으며 복수의 비선형방

정식의 계산 결과를 비교하여 보다 정확한 결과를 선택할 수 있어 예상치 못한 결과의 오류를 수정할 수 있는 강인성을 부여해줄 수가 있게 되었다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] T. Nagasawa, M. Abe, N. Otsuzuki, T. Emura, Y. Jikihara, M. Takeuchi, "Development of a New Fault Location Algorithm for Multi-Terminal Two Parallel Transmission Lines", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 7, No. 3, pp.1516-1532, 1992
- [2] M. S. Sachdev, R. Agarwal, "A Technique for Estimating Transmission Line Fault Locations from Digital Impedance Relay Measurements", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 3, No. 1, pp.121-129, 1988
- [3] A. Wiszniewski, "Accurate Fault Impedance Locating Algorithm", IEE Proceedings, Vol. 130, pt. C, No. 6, pp.311-314, 1983
- [4] R. K. Aggarwal, D. V. Coury, A. T. Johns, A. Kalam, "A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 8, No. 3, pp.874-883, 1993
- [5] 박흥규, 이명수, 이재규, 유석구, "송전선에서의 고저항 지락사고시 고장거리 추정에 관한 알고리즘", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1363-1365, 1999
- [6] 권태원, 강상희, 최면송, 이승재, "1회선 분기점을 갖는 병행 2회선 송전선로의 고장점 표정 알고리즘", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 116-118, 1999년 11월
- [7] Laura L. Pullum, "Software Fault Tolerance Techniques and Implementation", Artech House, 2001
- [8] 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2000