

MATLAB을 이용한 GUI 소프트웨어 개발에 관한 연구

김병천  
광명전기

김철환  
성균관대학교

A Study on the Development of GUI Software using MATLAB

B.C. Kim KwangMyung Electric Engineering C.H. Kim Sungkyunkwan University

**Abstract** - Arcing fault on overhead lines can be detected by amplitude of the arc voltage using numerical algorithm. In the case of transient fault, the arc voltage has any high value. In the case of permanent fault, the arc voltage is near zero. Thus, fault distance estimation should be performed by digital distance relay algorithm[3].

The purpose of this study is to build a structure for modeling of arcing fault detection and fault distance estimation algorithm using Matlab programming. Additionally, this algorithm has been designed in Graphical User Interface(GUI). So, this method using GUI interface of Matlab can reduce the number of simulation steps in modeling the distance relay.

1. 서론

전력계통의 안정도와 전력공급 신뢰도 측면에서 수송 전력량이 많은 송전계통에서는 송전선로 고장 시에 고장을 제거한 후 송전선로를 자동재폐로 한다. 일시고장의 경우에는 자동재폐로가 매우 유효한 방법이나, 영구고장에서의 재폐로는 전력계통과 전력장비들에 치명적인 영향을 가중시킬 수 있다. M.B Djuric과 V.V Terzija는 고장전압 파형으로부터 아크전압의 값을 얻어내어 영구고장과 일시고장을 구별하였다. 또한 영구고장이 발생하는 경우 거리계전에 의한 신속한 고장거리 추정이 요구된다[1-5].

본 논문에서는 EMTP 시뮬레이션을 통하여 계전점의 전압과 전류파형을 시뮬레이션하고, 아크전압을 산출해내기 위해 최소 자승 오차법을 이용한 DSP 알고리즘을 Matlab으로 구현하였다. 또한 고장거리를 추정하는 거리계전 방식을 포함하여 여러 가지의 알고리즘을 Matlab의 GUI 환경으로 작성하여 수행하였다. 최종적으로는 아크전압 판별과 고장거리 추정에 의하여 사용되어지는 여러 가지 과정을 pull-down menu와 pop-up menu 등을 사용하여 알고리즘의 수행과정을 보다 쉽게 이해하고 구현할 수 있도록 하였다[7].

2. 아크사고 종류

2.1 일시고장과 영구고장

송전선로에서 일어나는 사고의 종류를 일시고장과 영구고장으로 구별할 수 있다. M.B. Djuric과 V.V. Terzija는 일시고장과 영구고장의 구분을 아크를 포함하는 경우와 아크를 포함하지 않는 경우로 구분하였다 [3]. 이 경우 아크를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우는 일정한 레벨의 아크전압 크기를 기준으로 구별한다. 아크를 포함하는 일시고장은 아크의 길이가 절연체의 길이로 결정되는 최소의 길이보다 큰 경우이고, 영구고장은 절연체의 길이보다 작은 아크의 길이를 가지는 경우를 말한다.

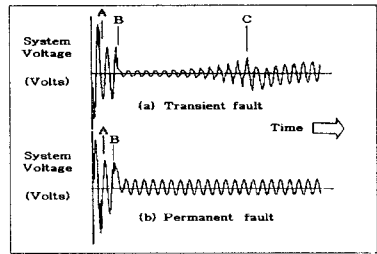


그림 1. 일시고장과 영구고장 전압파형

그림 1은 A.T. Johns와 R.K. Aggarwal에 의해 제시된 일시고장과 영구고장의 전압파형을 나타낸다[6]. 그림 1의 (a)에서는 일시고장의 파형을 보인다. A점은 선로에 사고가 발생한 순간이고, B점은 사고를 감지하고 차단기가 동작하는 시간이다. 이때 스위칭 작용에 의한 2차아크가 발생하게 되고, 높은 주파수 성분 때문에 소호와 재점화를 반복하게 된다. 차단기의 동작은 2차아크 전류, 회복 전압 크기와 상승률, 고장전류, 고장점, 고장전 조건 등에 의해 영향을 받게 되고, C점에서 자연적으로 소호를 하게 된다. 영구고장인 경우는 그림 1의 (b)에서와 같이 A점에서 사고가 발생하고 그림 1의 (a)와 마찬가지로 B에서 차단기가 동작되게 된다. 하지만 차단기가 동작되고 난 이후에도 소호와 재점화의 반복이 아닌 일정한 전압이 유지된다. 따라서, 이러한 경우 송전선과 기기의 보호를 위하여 재폐로는 수행되어서는 안 된다.

3. 아크사고 검출 및 고장거리 추정

3.1 아크사고 검출 [3]

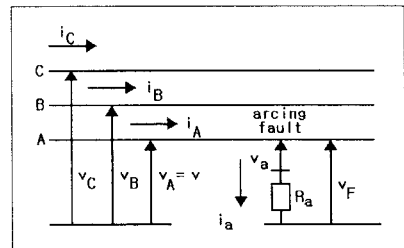


그림 2. 송전선로에서의 1선 지락사고

그림 2는 송전선로 사고의 대부분을 차지하는 1선 지락사고를 나타내는데, 1선 지락사고와 같은 불평형 사고의 경우를 해석하기 위하여 고장전압과 전류를 대칭 좌표법으로 해석하는 방법이 사용된다. 선로는 3개의 단상 회로 즉 정상분, 영상분, 역상분 등가회로로 나타낼 수 있다. 정상분과 역상분 회로는 그림 3에서 보여지고, 영상분 선로는 그림 4에서 보여진다. 그림 3에서 R, L은 각각 정상분 또는 역상분 선로 등가 저항과 인덕턴스를

나타내고, 그림 4에서  $R_0$ ,  $L_0$ 는 각각 영상분 선로 등가 저항과 인덕턴스를 나타낸다. 식 (1)은 대칭 성분으로 분해하였을 경우 각 상의 전압과 전류와의 관계를 나타낸다.

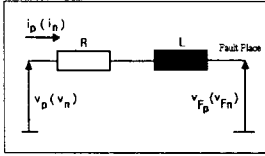


그림 3. 정상분, 역상분 회로

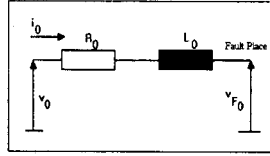


그림 4. 영상분 회로

$$\left. \begin{aligned} v_p &= Ri_p + L \frac{di_p}{dt} + v_{ap} \\ v_n &= Ri_n + L \frac{di_n}{dt} + v_{an} \\ v_0 &= R_0 i_0 + L_0 \frac{di_0}{dt} + v_{a0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

여기서,  $v_a$ 는 아크 전압의 크기이다.

중첩의 원리를 이용하여 위 식 (2)를 정리하면,

$$v = v_A = v_p + v_n + v_0 \quad (3)$$

$$= R(i + K_R i_0) + L \left( \frac{di}{dt} + K_L \frac{di_0}{dt} \right) + v_a + \varepsilon$$

여기서,  $K_R = (R_0 - R)/R$ ,  $K_L = (L_0 - L)/L$ 이고,  $\varepsilon$ 는 모든 측정 오차와 선로의 모델링, 아크 등의 오차이다.

$R$ ,  $L_e(L/2T)$ 과  $V_a$ 를 구하기 위하여 식 (3)에 최소 자승 오차법을 적용하면 다음 식 (4)와 같은 행렬 형태가 얻어진다. 그러므로 아크전압  $V_a$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ B & D & E \\ C & E & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ L_e \\ V_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ G \\ H \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3.2 고장거리 추정 알고리즘

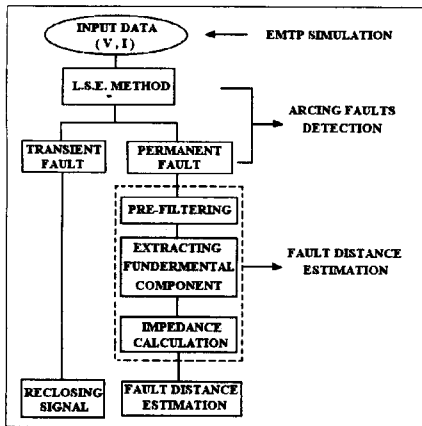


그림 5. 아크사고 검출 및 고장거리 추정 알고리즘

아크사고 검출과 고장거리 추정에 관한 알고리즘은 그림 5에서 보는 바와 같다. 아크사고 검출과 고장거리 추정의 모의에 사용되어질 고장 데이터는 EMTP로부터 얻어진다. EMTP로부터 얻어진 전압, 전류 데이터는 최소 자승 오차법을 통하여 아크사고 검출을 위하여 사용되어지며, 아크사고 검출을 통하여 송전선로에서 발생한 사고가 일시고장인 경우 재폐로를 수행하게 된다. 1선지

락과 같은 영구고장인 경우에는 고조파와 직류성분을 제거하고, 기본파를 추출하는 필터링을 통하여 고장지점까지의 임피던스를 구하여, 고장거리를 추정하게 된다. 본 논문에서는 기본파 추출을 위한 방법으로 DFT, Block pulse, Walsh 함수의 세가지 기본파 추출 필터를 사용하였다.

### 4. Matlab을 이용한 GUI 구성

본 논문에서는 아크사고 검출과 고장거리 추정을 위한 알고리즘의 수행을 효율적으로 하기 위하여 GUI (Graphic User Interface)를 이용하여 시뮬레이션 할 수 있도록 나타내었다. 그림 6은 본 논문에서 사용되어진 GUI 전체 메뉴를 나타낸다.

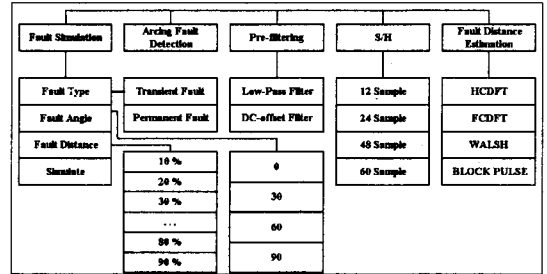


그림 6. GUI로 작성되어진 소프트웨어의 메뉴

GUI를 이용하면 여러 개의 알고리즘을 하나의 화면에서 pull-down menu와 pop-up menu로서 표현이 가능하기 때문에 알고리즘 과정을 쉽게 실행할 수 있는 장점이 있다. 본 GUI 메뉴로 해석가능한 것은 다음과 같다.

- (1) 사고 모의 (Fault simulation)
- (2) 아크전압 검출 (Arcing fault detection)
- (3) 전처리 과정 (Pre-filtering)
- (4) 샘플 홀더 (Sample & Holder)
- (5) 고장거리 추정 (Fault distance estimation)

그림 7은 사고를 모의하기 위하여 고장종류와 고장발생각, 고장거리를 pop-up menu를 사용하여 초기화하는 윈도우로 고장종류는 일시고장과 영구고장이고, 고장발생각은 0°, 30°, 60°, 90° 이고, 고장거리는 전체 선로 26km를 10% 간격으로 모의할 수 있다.

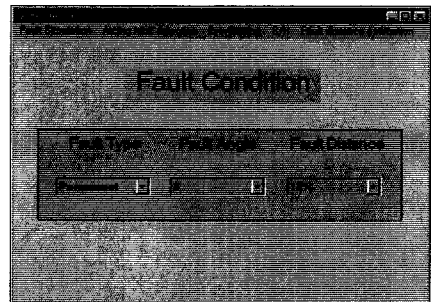


그림 7. 고장 모의를 위한 고장 조건 입력 메뉴

### 5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

#### 5.1 모델 계통도

그림 8의 모델 계통은 선로의 양단에 240 [MVA]와 180 [MVA]의 두 전원을 포함하는 26 [km]의 선로이다. 본 모델은 용인-안성간의 실제 계통 모델이고, EMTP로 시뮬레이션 하여 데이터를 얻었다.

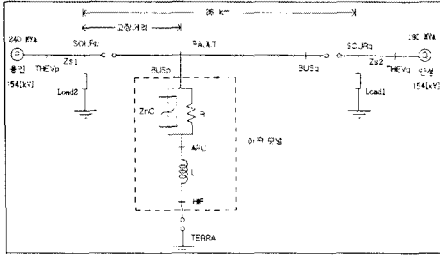


그림 8. 시뮬레이션 모델 계통도

### 5.2 아크사고 검출 알고리즘 결과

그림 9와 그림 10은 고장발생각과 고장거리가 0° 와 30° (7.8km)로 같은 조건에서 고장의 종류만을 다르게 하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 각 그림에서 위쪽의 파형은 최소 자승 오차법에 의하여 전 샘플의 수렴과정을 나타낸다. 그리고 아래의 파형은 그래프가 결과적으로 수렴하는 값의 마지막 10샘플의 값을 보여준다. 그림 9의 경우, 아크전압의 크기가 약  $4 \times 10^4$  [V] 정도의 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있고, 그림 10의 경우, 아크전압의 크기는 약 50 [V] 이하의 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서, 1선 아크사고로 모의된 일시고장의 경우와 1선 지락사고로 모의된 영구사고의 경우 아크전압의 크기가 매우 큰 차이를 가지는 것을 알 수 있다.

아크전압의 수렴값은 고장 발생 후 2주기 이내에서 수렴을 하기 때문에 사고가 발생한 이후 2주기가 지나기 전에 아크전압 수렴값을 알 수 있고, 따라서 신속하게 사고의 종류를 판별하여 자동 재폐로나 거리계전을 수행할 수 있다.

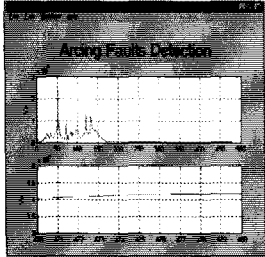


그림 9. 일시고장

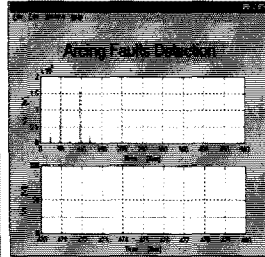


그림 10. 영구고장

### 5.3 고장거리 추정 알고리즘 결과

HCDFT의 경우는 FCDFT의 반주기만을 사용하기 때문에 상대적으로 수렴하는 속도가 빠르지만, 한 주기의 데이터를 모두 사용하는 FCDFT의 반주기만을 사용하기 때문에, 수렴점에서 조금 더 크게 진동한다. Walsh 함수를 사용하여 기본파를 추출하는 것은 FCDFT를 사용하는 경우와 유사한 결과를 나타낸다. 하지만, Walsh 함수를 사용하는 경우, 연산 시간이 FCDFT보다는 약간 길어진다.

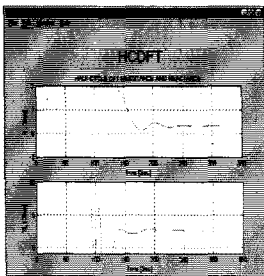


그림 11. HCDFT 이용 결과

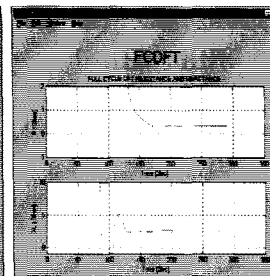


그림 12. FCDFT 이용 결과

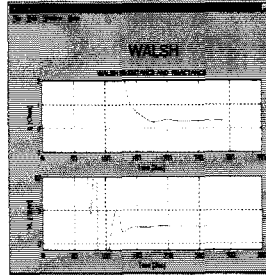


그림 13. Walsh 이용 결과

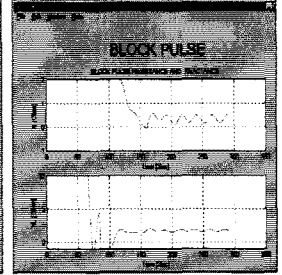


그림 14. Block pulse 이용 결과

결과를 비교하여 볼 때, Walsh 함수를 사용하는 경우에서 각 고장거리와 고장발생각 등의 고장조건에 따른 저항값과 리액턴스의 값은 실제값과 FCDFT와 비교하여 거의 오차가 없는 것을 알 수 있다. Block pulse 함수를 사용한 경우에는 샘플수를 낮추어서 모델링하는 경우 수렴값이 진동하는 결과를 나타냈다. 또한 샘플수를 높이기 위해서는 Block pulse 함수를 연산하기 위한 계수값이 늘어나게 되어 계산이 복잡하게 되는 단점이 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 Matlab의 사용자 인터페이스 중심인 GUI 환경을 이용하여, 아크전압의 검출을 위한 알고리즘과 거리계전 기법에 사용될 고장거리 추정 알고리즘을 모의할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

제시된 Matlab의 GUI 소프트웨어는 다양한 상황에 대한 모의를 손쉽게 수행할 수 있고, 알고리즘의 진행과정을 손쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다. 특히, Matlab으로 작성되어진 프로그램의 실행속도는 다른 프로그램으로 작성된 프로그램의 실행속도보다 빠르기 때문에, 알고리즘이 빠른 시간 내에 수행될 수 있는 장점이 있다.

### (참고 문헌)

- [1] Djuric, M.B. and Terzija, V.V. "A new approach to the arcing faults detection for autoreclosure in transmission system", IEEE Transaction in Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp. 1793-1798, 1995.
- [2] Ge, Y., Sui, F. and Xiao, Y., "Prediction methods for preventing single-phase reclosing on a permanent fault", IEEE Transaction on Power delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 114-121, 1989.
- [3] Djuric, M.B., Radojevic, Z.M. and Terzija, V.V., "Numerical algorithm for arcing faults detection and fault distance calculation on overhead lines", Electric machines and power systems, pp. 939-953, 1997.
- [4] Djuric, M.B., Radojevic, Z.M. and Terzija, V.V., "Arcing faults detection on transmission lines using least square technique", ETEP vol. 8, No. 6, pp. 437-443, Nov/Dec 1998.
- [5] Djuric, M.B., Radojevic, Z.M. and Terzija, V.V., "Digital signal processing algorithm for arcing faults detection and fault distance calculation on transmission lines", Electric machines and power systems, Vol. 19, No. 3, pp. 165-170, 1997.
- [6] R.K. Aggarwal, A.T. Johns and Y.H. Song, "Neural-network based adaptive single-pole autoreclosure technique for EHV transmission systems" IEE Pro.-Generation Trans. Distr. 141, No. 2, pp. 155-160, 1994.
- [7] 임종수, "MATLAB 완벽가이드 II", 도서출판 아진, pp. 302-328, 1999.