

## Analysis of Characteristic Frequency along Fault Distance on a Transmission Line

南淳烈\* · 洪定基\*\* · 姜相熙\*\*\* · 朴鍾根§

(Soon-Ryul Nam · Jung-Ki Hong · Sang-Hee Kang · Jong-Keun Park)

**Abstract** - Since the characteristic frequency is decreased in proportion to the fault distance, the characteristic frequency component may be insufficiently eliminated by a low-pass filter on a long transmission line. In order to set a standard for the cut-off frequency of the low-pass filter, this paper proposes a method for obtaining the characteristic frequencies due to line faults. The application results of the proposed method are presented for line to ground (LG) faults and line to line (LL) faults on a 345 kV 200 km overhead transmission line. The EMTP is used to generate fault signals under different fault locations and fault inception angles. By comparison between the characteristic frequencies obtained from the proposed method and the EMTP simulation, it is shown that the proposed method accurately obtains the characteristic frequency.

**Key Words** : Characteristic Frequency, EMTP, Line Fault, Long Transmission Line, Low-pass Filter

### 1. 서론

선로 사고에 의한 전압과 전류 신호에는 시간에 따라 크기가 감쇄하는 공진 주파수 성분들이 포함되며, 계전점으로 부터의 사고 거리가 멀어질수록 발생하는 공진 주파수가 낮아진다[1]-[2]. 특히, 사고 거리  $l$  에서 발생하는 여러 개의 공진 주파수  $\omega_c(l)$  중에서 가장 낮은 주파수로 정의되는 특성 주파수  $\omega_c(l)$  은 저역 필터의 차단 주파수보다 낮아질 수 있으며, 결과적으로 전압과 전류 신호에 포함된 기본파 성분의 정확한 측정을 어렵게 할 수 있다. 대부분의 거리 계전기에서는 전압과 전류 신호에 포함된 기본파 성분을 측정하여 임피던스를 계산함으로써 사고 유무를 판단하는데, 이러한 기본파 성분은 직교 변환을 이용하여 측정하는 것이 일반적이다[3]. 전압과 전류 신호에 포함된 고조파 성분들은 직교 변환에 의해서 완벽히 제거되지만, 직류 오프셋 성분과 같이 특성 주파수 성분도 시간에 따라 크기가 감쇄하는 성분이므로 직교 변환에 의해서 완전히 제거되지 못한다. 일반적으로, 100 km 이하의 송전 계통에서는 선로 사고에 의한 특성 주파수가 1 kHz 이상에서 발생한다. 따라서 직교 변환 이전에 적용되는 저역 필터에 의해서 특성 주파수 성분이 제거되므로 특성 주파수 성분은 직교 변환에 영향을

주지 않는다. 이에 비해서 장거리 송전 계통에서는 1 kHz 이하의 특성 주파수가 발생할 수 있는데, 이를 고려한 저역 필터를 적용하지 않을 경우 특성 주파수 성분이 저역 필터에 의해서 충분히 제거되지 못한다. 결과적으로 기본파 성분의 정확한 측정이 어렵게 될 수 있으므로 장거리 송전 계통의 거리 계전기에서는 특성 주파수 성분에 대한 고려가 필요하다. 예를 들어, 직류 오프셋 성분을 제거하여 기본파 성분을 정확히 측정하기 위한 목적으로 참고 문헌 [4]에서 제안한 novel Fourier filter는 계전 신호에 특성 주파수 성분이 포함될 경우 기본파 성분의 측정에 상당한 오차를 발생 시키므로, 발생 가능한 특성 주파수를 고려하여 저역 필터의 차단 주파수를 설정하여야 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 송전 선로의 사고 거리에 따른 특성 주파수를 구하는 방법을 제시하였으며 EMTP(ElectroMagnetic Transient Program)를 이용하여 특성 주파수를 모의하였다. 제시한 방법으로 구한 특성 주파수와 EMTP 모의를 이용하여 구한 특성 주파수를 비교하였으며, 이를 통해 본 논문에서 제시한 방법의 타당성을 검증하였다.

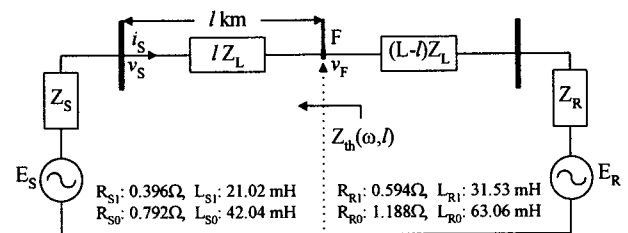


그림 1. 345 kV 200 km 송전 계통  
Fig. 1 345 kV 200 km Transmission System

\* 正會員 : 曉星重工業 研究所 責任研究員 · 工博  
 \*\* 正會員 : 曉星重工業 研究所 首席研究員  
 \*\*\* 正會員 : 明知大學校 電氣工學科/차세대 전력기술 연구센터 副教授 · 工博  
 § 正會員 : 서울大學校 電氣工學部 教授 · 工博  
 接受日字 : 2004年 2月 24日  
 最終完了 : 2004年 6月 3日

표 1. 송전 선로의 파라미터

Table 1. Overhead transmission line parameters

대칭 성분	파라미터	값	단위
정상 역상	$R_1, R_2$	0.0345	$\Omega/km$
	$L_1, L_2$	0.9742	$mH/km$
	$C_1, C_2$	0.0117	$\mu F/km$
영상	$R_0$	0.2511	$\Omega/km$
	$L_0$	2.7058	$mH/km$
	$C_0$	0.0045	$\mu F/km$

2. 특성 주파수

본 논문에서는 그림 1에서 주어진 345 kV 200 km 송전 계통을 모델 계통으로 선정하였으며, 송전 선로의 파라미터는 표 1에서 주어진 값을 사용하였다.

2.1 지락 사고에 의한 특성 주파수

송전단 S로부터 거리  $l$  만큼 떨어진 사고점 F에서의 a 상 지락 사고를 가정할 때,  $Z_{th}^a(w, l)$ 는 사고점을 기준으로 송전단 방향으로 바라보는 a 상의 테브난 등가 임피던스를 나타낸다. 공진 주파수  $w_r(l)$ 은  $Z_{th}^a(w, l)$ 의 크기를 최소로 하는 주파수가 되는데, 하나의 사고에 대해서 여러 개의 공진 주파수가 존재한다. 특성 주파수  $w_c(l)$ 는 이러한 공진 주파수 중에서 가장 낮은 공진 주파수이므로 다음과 같이 주어진다.

$$w_c(l) = \min(w_r(l)) = \min(\min_w \|Z_{th}^a(w, l)\|) \quad (1)$$

사고점 F에 나타나는 사고 직전의 a 상 전압  $v_F(t)$ 가 다음과 같이 주어질 때,

$$v_F(t) = V_M \cdot \sin(w_f t + \theta_F) \quad (2)$$

여기서,

$V_M$ : 전압의 최대값

$w_f$ : 기본 각주파수

$\theta_F$ : 사고 투입 위상각

a 상 지락 사고에 의해서 사고점에 중첩되는 전압  $\Delta v_F(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta v_F(t) = -v_F(t) = -V_M \cdot \sin(w_f t + \theta_F) \quad (3)$$

그림 2는 지락 사고에 의해서 중첩되는 시퀀스 회로를 보여 주고 있다. 여기서 아래 첨자  $k$ 는 0, 1, 2가 되며 각각 영상, 정상, 역상을 나타낸다.

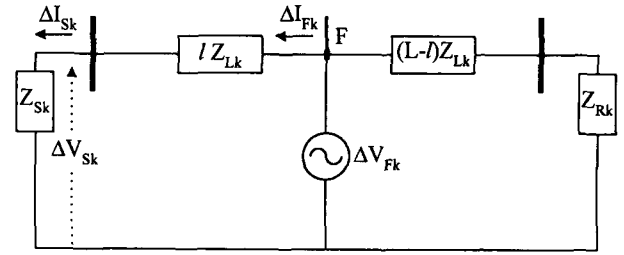


그림 2. 사고에 의해서 중첩되는 시퀀스 회로  
Fig. 2. The superimposed sequence network

그림 2에서 표시된  $\Delta V_{Sk}$ 와  $\Delta I_{Sk}$ 는 지락 사고에 의해서 송전단 S에 중첩되는 시퀀스 전압과 전류를 나타내며,  $\Delta V_{Fk}$ 와  $\Delta I_{Fk}$ 는 지락 사고에 의해서 사고점 F에 중첩되는 시퀀스 전압과 전류를 나타낸다.

테브난 등가 임피던스  $Z_{th}^a(w, l)$ 는 사고점에 중첩되는 a 상 전압  $\Delta V_F^a$ 와 a 상 전류  $\Delta I_F^a$ 의 비로 표현할 수 있으며,  $\Delta V_F^a$ 와  $\Delta I_F^a$ 는  $\Delta V_{Fk}$ 와  $\Delta I_{Fk}$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{th}^a(w, l) = \frac{\Delta V_F^a}{\Delta I_F^a} = \frac{\sum_{k=0,1,2} \Delta V_{Fk}}{\sum_{k=0,1,2} \Delta I_{Fk}} \quad (4)$$

식 (4)의  $\Delta V_{Fk}$ 와  $\Delta I_{Fk}$ 는 그림 3에 나타난 분포 정수 회로를 이용하면 식 (5)와 식 (6)과 같이  $\Delta I_{Sk}$ 로 표현할 수 있다.

$$\Delta V_{Fk} = Z_{Vk} \Delta I_{Sk} \quad (5)$$

$$\Delta I_{Fk} = \frac{Z_{Rk}}{Z_{Ck}} \Delta I_{Sk} \quad (6)$$

여기서,

$$Z_{Vk} = Z_{Sk} \cdot \cosh \gamma_k l + Z_{Ck} \cdot \sinh \gamma_k l$$

$$Z_{Rk} = Z_{Sk} \cdot \sinh \gamma_k l + Z_{Ck} \cdot \cosh \gamma_k l$$

$$Z_{Ck} = \sqrt{\frac{z_k}{y_k}} = \sqrt{\frac{R_k + jw L_k}{jw C_k}}$$

$$\gamma_k = \sqrt{z_k y_k} = \sqrt{(R_k + jw L_k)(jw C_k)}$$

$$Z_{S0} = R_{S0} + jw L_{S0}$$

$$Z_{S1} = Z_{S2} = R_{S1} + jw L_{S1}$$

$Z_{Ck}$ 와  $\gamma_k$ 는 그림 3에 나타난 송전 선로의 특성 임피던스(characteristic impedance)와 전파 상수(propagation constant)를 나타낸다.

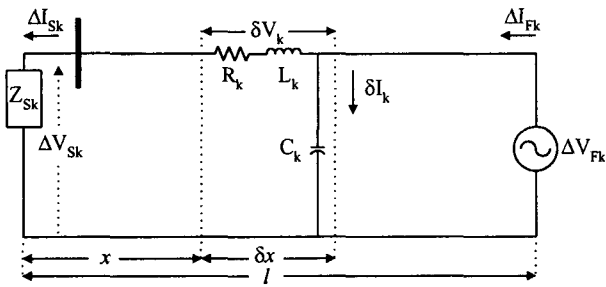


그림 3. 분포 정수 회로를 이용한 시퀀스 회로  
 Fig. 3. The superimposed sequence network with the distributed-parameter line model

식 (5)의  $\Delta I_{Sk}$  를 식 (6)에 대입하면

$$\Delta I_{Fk} = \frac{Z_{Fk}}{Z_{Ck}} \frac{\Delta V_{Fk}}{Z_{Vk}} \quad (7)$$

가 된다. 그런데,  $\Delta V_{Fk}$  는 a 상 지락 사고에 의해서 사고점에 중첩되는 시퀀스 전압이므로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{F0} \\ \Delta V_{F1} \\ \Delta V_{F2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j2\pi/3} & e^{j4\pi/3} \\ 1 & e^{j4\pi/3} & e^{j2\pi/3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta V_F^a \\ \Delta V_F^b \\ \Delta V_F^c \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$= \begin{bmatrix} -V_F \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{-V_F}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

식 (4), (7), (8)을 이용하면 식 (4)의  $Z_{th}^a(w, l)$  는 다음과 같이 정리된다.

$$Z_{th}^a(w, l) = \frac{\sum_{k=0,1,2} \Delta V_{Fk}}{\sum_{k=0,1,2} \Delta I_{Fk}} = \frac{3\Delta V_{F0}}{\Delta V_{F0} \sum_{k=0,1,2} \frac{Z_{Fk}}{Z_{Ck}Z_{Vk}}} \quad (9)$$

$$= \frac{3}{\sum_{k=0,1,2} \frac{Z_{Fk}}{Z_{Ck}Z_{Vk}}}$$

최종적으로 식 (9)를 식 (1)에 대입하면 지락 사고에 의한 특성 주파수는 다음과 같이 주어진다.

$$w_c(l) = \min \left( \max_w \left\| \sum_{k=0,1,2} \frac{Z_{Fk}}{Z_{Ck}Z_{Vk}} \right\| \right) \quad (10)$$

그림 4는 그림 1에서 주어진 송전 계통의 180 km a 상 지락 사고에 대해서 식 (9)를 이용하여 구한 테브난 임피던스  $Z_{th}^a(w, 180)$  을 보여 주고 있다.

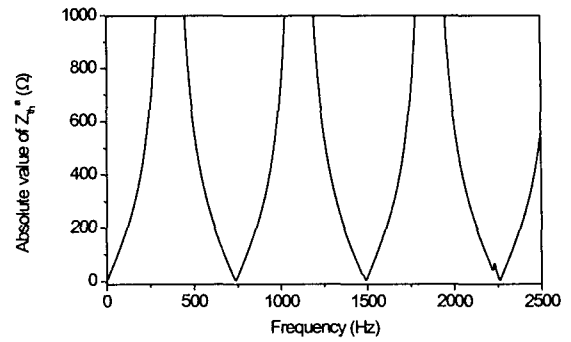


그림 4. 180 km a 상 지락 사고에 대한  $Z_{th}^a$   
 Fig. 4. Thévenin impedance  $Z_{th}^a$  of a 180 km a-g LG fault

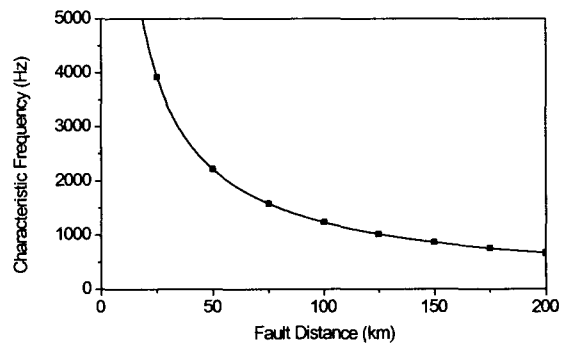


그림 5. a 상 지락 사고에 의한 특성 주파수  
 Fig. 5. Characteristic frequencies induced by a-g LG faults

그림에서 알 수 있듯이 테브난 임피던스는 738 Hz, 1490 Hz, 2260 Hz 등의 공진 주파수에서 최소의 크기를 가지며 이들 중에서 최소의 공진 주파수인 738 Hz가 특성 주파수가 된다.

그림 5는 식 (10)을 이용하여 구한 특성 주파수를 사고 거리에 따라 보여주고 있는데, 지락 사고에 의한 특성 주파수가 사고 거리에 반비례함을 알 수 있다.

사고 거리가 100 km 이하인 지락 사고에서는 100 km 지락 사고의 특성 주파수인 1239 Hz 이상의 특성 주파수가 발생하므로 일반적인 저역 필터에 의해서 특성 주파수 성분이 제거된다. 이에 비해서 200 km 지락 사고의 특성 주파수인 671 Hz는 상당히 낮은 주파수이므로, 이를 고려하여 저역 필터의 차단 주파수를 설정하여야 한다.

### 2.2 단락 사고에 의한 특성 주파수

단락 사고에 의한 특성 주파수는 지락 사고와 유사한 방법으로 구할 수 있다. 송전단 S 로부터 거리 l 만큼 떨어진 사고점 F 에서의 b-c 상 단락 사고를 가정할 때,  $Z_{th}^b(w, l)$  는 사고점을 기준으로 송전단 방향으로 바라보는 b 상의 테브난 등가 임피던스를 나타낸다. 테브난 등가 임피던스  $Z_{th}^b(w, l)$  는 사고점에 중첩되는 b 상 전압  $\Delta V_F^b$  와 b 상 전류  $\Delta I_F^b$  의 비로 표현할 수 있으며,  $\Delta V_F^b$  와  $\Delta I_F^b$  는  $\Delta V_{Fk}$  와  $\Delta I_{Fk}$  를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{th}^b(w, l) = \frac{\Delta V_F^b}{\Delta I_F^b} \quad (11)$$

$$= \frac{\Delta V_{F0} + e^{j4\pi/3} \Delta V_{F1} + e^{j2\pi/3} \Delta V_{F2}}{\Delta I_{F0} + e^{j4\pi/3} \Delta I_{F1} + e^{j2\pi/3} \Delta I_{F2}}$$

그런데,  $\Delta I_{Fk}$  는 b-c 상 단락 사고에 의해서 사고점에 중첩되는 시퀀스 전류이므로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} \Delta I_{F0} \\ \Delta I_{F1} \\ \Delta I_{F2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j2\pi/3} & e^{j4\pi/3} \\ 1 & e^{j4\pi/3} & e^{j2\pi/3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ I_F \\ -I_F \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \frac{I_F}{3} \begin{bmatrix} 0 \\ e^{j2\pi/3} - e^{j4\pi/3} \\ e^{j4\pi/3} - e^{j2\pi/3} \end{bmatrix}$$

지락 사고에서의 식 (5)와 식 (6)은 분포 정수 회로에 대해서 일반적으로 성립하는 관계식이므로 단락 사고에 대해서도 적용이 가능하며, 식 (12)의 결과를 식 (5)와 식 (6)에 적용하면 다음 식들을 구할 수 있다.

$$\Delta V_{F0} = Z_{V0} \Delta I_{S0} = Z_{V0} \frac{Z_{C0}}{Z_0} \Delta I_{F0} = 0 \quad (13)$$

$$\Delta V_{F1} = Z_{V1} \Delta I_{S1} = Z_{V1} \frac{Z_{C1}}{Z_1} \Delta I_{F1} \quad (14)$$

$$\Delta V_{F2} = Z_{V2} \Delta I_{S2} = Z_{V2} \frac{Z_{C2}}{Z_2} \Delta I_{F2} \quad (15)$$

$$= -Z_{V2} \frac{Z_{C2}}{Z_2} \Delta I_{F1}$$

식 (13), (14), (15)를 식 (11)에 대입하면 b 상의 테브난 등가 임피던스는 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{th}^b(w, l) = \frac{(e^{j4\pi/3} \frac{Z_{V1} Z_{C1}}{Z_1} - e^{j2\pi/3} \frac{Z_{V2} Z_{C2}}{Z_2}) \Delta I_{F1}}{(e^{j4\pi/3} - e^{j2\pi/3}) \Delta I_{F1}} \quad (16)$$

$$= \frac{(e^{j4\pi/3} \frac{Z_{V1} Z_{C1}}{Z_1} - e^{j2\pi/3} \frac{Z_{V2} Z_{C2}}{Z_2})}{(e^{j4\pi/3} - e^{j2\pi/3})}$$

그림 1에서 주어진 모델 계통에서의 정상 성분과 역상 성분은 같은 값을 가지므로 단락 사고에 의한 특성 주파수는 식 (17)과 같이 주어진다.

$$w_c(l) = \min(\min_w \|Z_{th}^b(w, l)\|) \quad (17)$$

$$= \min\left(\max_w \left\| \frac{Z_{I1}}{Z_{V1} Z_{C1}} \right\| \right)$$

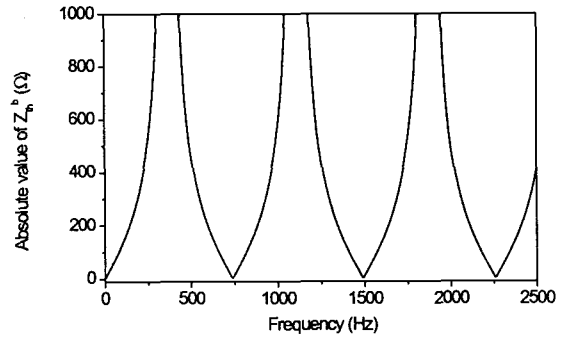


그림 6. 180 km b-c 상 단락 사고에 대한  $Z_{th}^b$   
Fig. 6. Thévenin impedance  $Z_{th}^b$  of a 180 km b-c LL fault

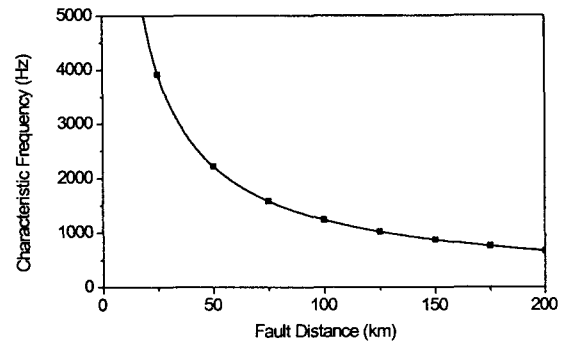


그림 7. b-c 상 단락 사고에 의한 특성 주파수  
Fig. 7. Characteristic frequencies induced by b-c LL faults

그림 6은 그림 1에서 주어진 송전 계통의 180 km b-c 상 단락 사고에 대하여 식 (16)을 이용하여 구한  $Z_{th}^b(w, 180)$  를 보여 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 테브난 임피던스는 738 Hz, 1490 Hz, 2260 Hz 등의 공진 주파수에서 최소의 크기를 가지는데, 그림 4와 비교하면 단락 사고에 의한 공진 주파수가 지락 사고에 의한 공진 주파수와 동일함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 식 (9)와 식 (16)의 테브난 임피던스가 영상 성분  $Z_0/(Z_{C0}Z_{V0})$ 에 비해서 매우 큰 값을 가지는 정상 성분  $Z_1/(Z_{C1}Z_{V1})$ 과 역상 성분  $Z_2/(Z_{C2}Z_{V2})$ 에 의해서 결정되기 때문이다. 그림 1에서 주어진 모델 계통에서의 정상 성분과 역상 성분은 같은 값을 가지므로 지락 사고와 단락 사고에 의한 특성 주파수가 정상 성분에 의해서 동일하게 결정된다고 할 수 있다.

그림 7은 식 (17)을 이용하여 구한 특성 주파수를 사고 거리에 따라 보여주고 있다. 단락 사고와 지락 사고에 의한 공진 주파수가 동일하므로 단락 사고에 의한 특성 주파수는 지락 사고에 의한 특성 주파수와 모든 사고 거리에 대해서 동일하게 된다.

### 3. EMTP 모의 결과

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 그림 1에서 주어진 송전 계통에서의 특성 주파수를 모의하였으며 표 1에서 주어

진 송전 선로의 파라미터를 사용하였다. 샘플링 주파수는 7,680 Hz로 설정하였는데, 이는 60 Hz 계통에서 주기당 128 개의 샘플링을 하는 것에 해당한다. 고주파 성분을 제거하고 aliasing 현상을 방지하기 위해서 800 Hz의 차단 주파수를 가지는 2차의 Butterworth 저역 필터를 EMTP의 출력에 적용하였다. 그림 8은 180 km 선로 사고에 대해서 저역 필터를 통과한 전류 파형을 보여 주고 있다.

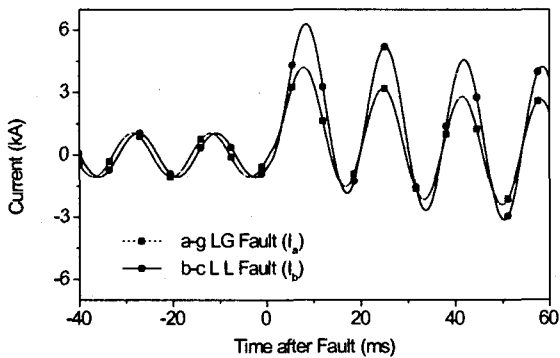
저역 필터를 통과한 계전 신호로부터 특성 주파수 성분을 추출하기 위하여 본 논문에서는 참고 문헌 [5]에서 제안한 해석적 방법의 일부를 적용하였으며 이를 간략히 설명하면 다음과 같다. 이산화된 계전 신호  $i_n$ 에서 고주파 성분을 제거하기 위해서 사인 필터를 적용한다.

$$i_n^{SF} = -\frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i_{n+k-N} \cdot \sin(\omega_j k \Delta t) \quad (18)$$

여기서,

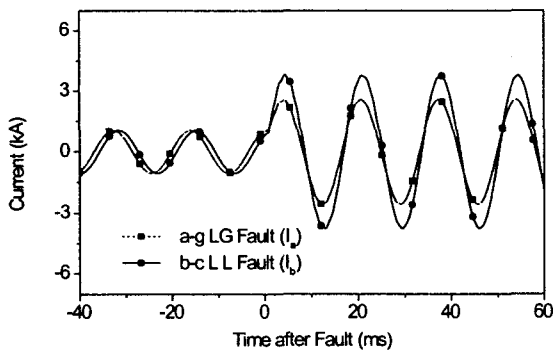
$N$ : 주기당 샘플링 수

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega_j} \cdot \frac{1}{N}$$



(a) 0° 사고

(a) Fault inception angle of 0°

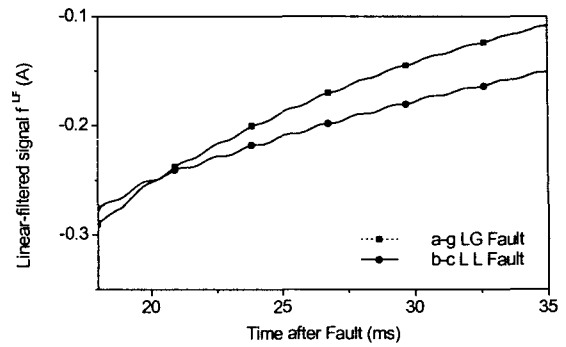


(b) 90° 사고

(b) Fault inception angle of 90°

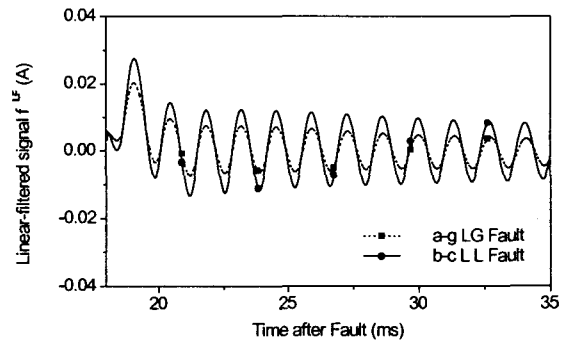
그림 8. 180 km 사고에 대한 전류 파형

Fig. 8. Current waveform of 180 km faults



(a) 0° 사고

(a) Fault inception angle of 0°



(b) 90° 사고

(b) Fault inception angle of 90°

그림 9. 180 km 사고에 대한 선형 필터를 통과한 신호  $i_n^{LF}$

Fig. 9. Linear-filtered signals  $i_n^{LF}$  of 180 km faults

다음으로, 사인 필터를 통과한 신호  $i_n^{SF}$ 로부터 기본파 성분을 제거하기 위해서 선형 필터를 적용한다.

$$i_n^{LF} = \sum_{k=0}^2 a_k \cdot i_{n+k-2}^{SF} \quad (19)$$

여기서,

$$a_0 = \cos(\omega_f 1 \Delta t) \sin(\omega_f 2 \Delta t) - \sin(\omega_f 1 \Delta t) \cos(\omega_f 2 \Delta t)$$

$$a_1 = \sin(\omega_f 0 \Delta t) \cos(\omega_f 2 \Delta t) - \cos(\omega_f 0 \Delta t) \sin(\omega_f 2 \Delta t)$$

$$a_2 = \cos(\omega_f 1 \Delta t) \sin(\omega_f 1 \Delta t) - \sin(\omega_f 0 \Delta t) \cos(\omega_f 1 \Delta t)$$

선형 필터를 통과한 신호  $i_n^{LF}$ 는 직류 유효 성분과 특성 주파수 성분으로 구성된다. 그림 9는 180 km a 상 지락 사고와 180 km b-c 상 단락 사고에 대한  $i_n^{LF}$ 를 사고 투입 위상각 0°와 90°에 대해서 보여 주고 있다.

일반적으로 알려진 바와 같이 0° 사고에서는 직류 유효 성분이 두드러지며 90° 사고에서는 고주파인 특성 주파수 성분이 강하게 나타나고 있다. 0° 사고에서는 지락 사고의

직류 몹셋 성분이 단락 사고의 직류 몹셋 성분보다 빨리 감쇄하는 것을 알 수 있는데, 이는 지락 사고의 시정수가 단락 사고의 시정수보다 크기 때문이다. 90° 사고에서는 그림 5와 그림 7에서 나타나듯이 지락 사고와 단락 사고에 의한 특성 주파수가 동일함을 알 수 있다.

EMTP 모의에서는 참고 문헌 [6]에서 제시한 Prony 해석을 이용하여 특성 주파수를 구하였다. 180 km 선로 사고의 모의에 의한 특성 주파수는 약 740 Hz로 구해졌는데, 이는 식 (10)과 식 (17)을 이용하여 구한 738 Hz와 거의 오차가 없으므로 본 논문에서 제시한 방법의 타당함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

장거리 송전 계통에서는 선로 사고에 의한 특성 주파수가 거리 계전기에 적용된 저역 필터의 차단 주파수보다 낮아질 수 있으며, 저역 필터에 의해 제거되지 못한 특성 주파수 성분으로 인하여 거리 계전기에서는 기본파 성분의 정확한 측정이 어렵게 될 수 있다. 따라서 장거리 송전 계통의 거리 계전기에서는 발생 가능한 특성 주파수를 고려하여 저역 필터의 차단 주파수를 설정하여야 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 지락 사고 및 단락 사고에 의한 특성 주파수를 구하는 방법을 제시하였으며, EMTP를 이용하여 특성 주파수에 대한 모의를 하였다. 동일한 모델 계통에 대해서 제시한 방법으로 구한 특성 주파수와 EMTP 모의에 의한 특성 주파수를 비교함으로써 본 논문에서 제시한 방법의 타당성을 검증하였다.

본 논문의 방법은 거리 계전기에 적용되는 저역 필터의 차단 주파수를 결정하기 위한 하나의 기준으로 사용될 수 있으며 특성 주파수를 이용한 고장점 표정 알고리즘 개발에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] L. M. Popovic, "General equations of the line represented by discrete parameters. II. Resonant phenomena," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 6, No. 1, January 1991, pp. 302-308.
- [2] Y. Tang, H. Chen, H. Wang, and F. Dai, "Transmission line models used in travelling wave studies," Transmission and Distribution Conference, Vol. 2, 1999, pp. 797-803.
- [3] A.G. Phadke, and J.S. Thorp, Computer Relaying for Power Systems, Research Studies Press Ltd. 1988.
- [4] J. C. Gu, and S. L. Yu, "Removal of DC-offset in current and voltage signals using a novel Fourier filter algorithm," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 15, No. 1, January 2000, pp. 73-79.
- [5] S. R. Nam, S. H. Kang, and J. K. Park, "An Analytic Method for Measuring Accurate Fundamental Frequency Components," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 17, April 2002, pp. 405-411.
- [6] J. F. Hauer, C. J. Demeure, and L. L. Scharf, "Initial results in Prony analysis of power system response

signals," IEEE Trans Power Systems, Vol. 5, No. 1, February 1990, pp. 80-89.

- [7] R. Benato, R. Caldon, A. Paolucci, R. Turri, "Resonance phenomena on line-to-ground fault current harmonics in MV networks," 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 1, October 1998, pp. 359-364.

### 저 자 소 개



#### 남 순 열(南 淳 烈)

1996년 서울대학교 전기공학부 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 효성중공업 연구소 책임 연구원.

Tel : 02) 707-4332

E-mail : ptsouth@hyosung.com



#### 홍 정 기(洪 定 基)

1986년 서울대학교 전기공학과 졸업. 2002년 명지 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 효성중공업 연구소 수석 연구원.

Tel : 02) 707-4330,

E-mail : jkhong@hyosung.com



#### 강 상 희(姜 相 熙)

1985년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 명지 대학교 전기공학과 부교수. 차세대 전력 기술 연구센터 연구원.

Tel : 031) 330-6364

E-mail : shkang@mju.ac.kr



#### 박 종 근(朴 鍾 根)

1973년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1979년 일본 동경대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동경대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 서울대학교 전기공학부 교수.

Tel : 02) 880-5516

E-mail : parkjk@snu.ac.kr