

3상 임피던스법 에 의한 전력계통 고장해석
Power System Fault Analysis by Phase Impedance Method

이 표 표
원 표 원

한진 기술연구원

한진 기술연구원

1. 서론

전력계통 계획 및 운영 시 적외안 및 보호, 차단장비 선정, 보호계전기 선정, 보호도 설계 및, 부도전압 계산, 사고시의 전압영향 파악의 수월성을 위한 고장해석 방법은 고장전류 계산의 중요성이 있다. 보통 사용하는 대칭좌표계에서의 고장전류 계산은 단일 사고시에는 간단히 처리될 수 있으나 다중 사고시에는 대칭좌표 임피던스(또는 어드미턴스)행렬의 부영역 처리에 고장전류 계산이 곤란하게 된다. 본 논문에서는 3상부 임피던스(행렬)를 이용하여 각종 단일사고를 행렬이론으로 분석하고 고장전류를 용이하게 계산함으로써 계산의 간편성을 확보하였다.

2. 고장전류 계산이론

고장상태의 전력계통은 그림 1의 테브난 동가회로로 표현될 수 있다.

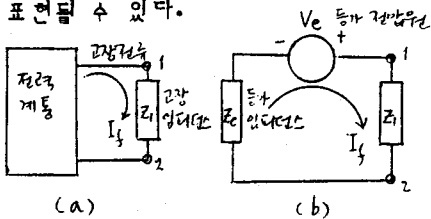


그림 1. 테브난 동가회로

고장전류는 그림 1(b)로부터 구해진다.

$$I_f = V_e / (Z_e + Z_f) \quad \dots (1)$$

대칭좌표 좌표계에서의 고장전류는 단일사고시는 사고종류별로 대칭좌표 동가회로 및 고장임피던스(어드미턴스)의 상호 연결관계에 따라 계산된다. 그러나 이중 사고시 고장전류 계산은 일반적으로 단일사고를 각각 계산하여 중첩의 원리로써 행하여

질 수 있으며 이상단락기를 도입하여 수기로은 해석화가 필요하기 위하여 3개의 부행된 대칭좌표 테브난 동가회로를 단상화하여 사용하고 영우행임피던스 2개의 행렬을 사고가 발생하였을 때 이 행렬을 합 수 있는 단말이 있다.

또한 α 와 α^2 에서 등시사고가 발생시 고장임피던스들 대칭좌표로 변환하고 고장전류를 구해본다 아득와 같다.

$$\begin{bmatrix} I_{sp}^+ \\ I_{sp}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{sp}^+ + Z_{sp}^- & Z_{sp}^+ \\ Z_{sp}^- & Z_{sp}^+ + Z_{sp}^- \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{sp}^+ \\ V_{sp}^- \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

이때 부영역으로 인한 영행렬 계산이 편제가 되어 고장전류 계산이 곤란하다.

전술한 대칭좌표 임피던스들의 편제법을 타계하기 위하여 부영역 요소가 포함되지 않은 계통동가임피던스들 3상부 임피던스로 변환하여 3상부 고장전류를 구해본다 식(3)이 되고 사고종류에 따라 3상부 고장임피던스에 무한대 요소가 나타나면 그에 해당하는 고장전류는 0이 되므로 계산할 필요가 없다. 고장전류가 0이 아닌 전류항과 이에 상응하는 3상부 임피던스에 의하여 식을 재정리 한 후 각 고장전류들 용이하게 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_{3p}^+ \\ I_{3p}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{3p}^+ + Z_{3p}^- & Z_{3p}^+ \\ Z_{3p}^- & Z_{3p}^+ + Z_{3p}^- \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{3p}^+ \\ V_{3p}^- \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

여기에서 임바적인 3상부 고장임피던스의 역행은 그림 2와 같다.

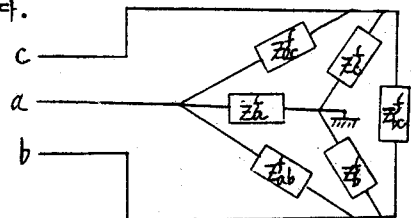
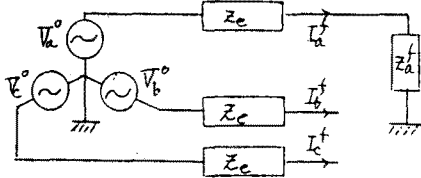


그림 2. 3상부 고장임피던스 임바회로도

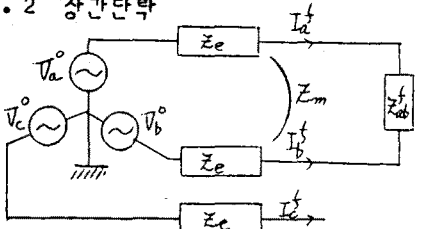
3. 고장전류 계산에

3.1 1선지락 사고



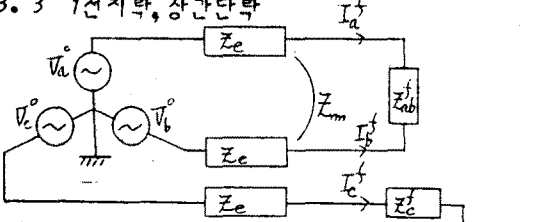
$$\begin{aligned} I_a^f &= V_a^0 / (Z_e + Z_{af}) \\ I_b^f &= I_c^f = 0 \end{aligned} \quad \text{--- (4)}$$

3.2 상간단락



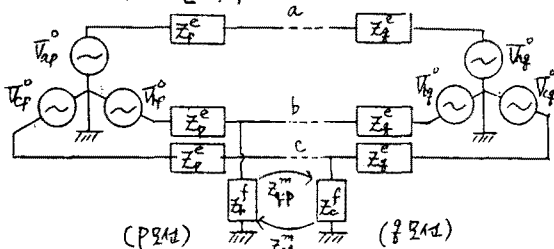
$$\begin{aligned} I_a^f &= -I_b^f - (V_a^0 - V_b^0) / \{2(Z_e - Z_m) + Z_{ab}^f\} \\ I_c^f &= 0 \end{aligned} \quad \text{--- (5)}$$

3.3 1선지락, 상간단락



$$\begin{bmatrix} I_a^f \\ I_b^f \\ I_c^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(Z_e - Z_m) + Z_{ab}^f & 0 \\ 0 & Z_e + Z_{af}^f \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_a^0 - V_b^0 \\ V_c^0 \end{bmatrix} \quad \text{--- (6)}$$

3.4 2개소 1선지락

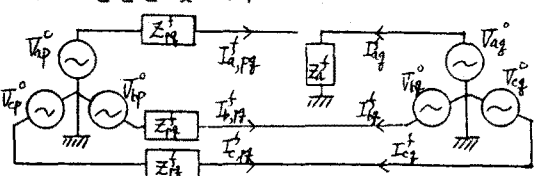


(PQ상) (R상)

$$\begin{bmatrix} I_{bp}^f \\ I_{cb}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{pp}^s & Z_{pq}^m \\ Z_{qp}^m & Z_{qq}^s \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{bp}^0 \\ V_{cq}^0 \end{bmatrix} \quad \text{--- (7)}$$

$$\begin{aligned} Z_{pp}^s &= Z_p^0 + Z_b^f \\ Z_{qq}^s &= Z_q^0 + Z_c^f \end{aligned}$$

3.5 1선단선 및 지락



사고1 : 모선 p, q 간 a상단선

사고2 : 모선 q a상지락

$$\begin{aligned} I_{a, pq}^+ &= I_{bg}^+ = I_{cg}^+ = 0 \\ \begin{bmatrix} I_{b, pq}^+ \\ I_{c, pq}^+ \\ I_{ag}^+ \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} Z_{bb}^+ + Z_{pq}^+ & Z_{bc}^+ & Z_{ba}^+ \\ Z_{cb}^+ & Z_{cc}^+ + Z_{pq}^+ & Z_{ca}^+ \\ Z_{ab}^+ & Z_{ac}^+ & Z_{aa}^+ + Z_{af}^+ \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{bp}^0 - V_{bq}^0 \\ V_{cq}^0 - V_{cp}^0 \\ V_{a0}^0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad \text{--- (8)}$$

4. 모선전압 계산

4.1 기준계통의 경우

페브난 정태로부터 고장후의 모선전압은 고장 전의 모선전압과 고장전류에 의한 모선전압의 변화분의 중첩이다.

$$V_{BUS}^f = V_{BUS}^0 + V^T \quad \text{--- (9)}$$

여기서 V^T 는 페브난 모선전압이라하며 다음단계 식으로부터 계산된다.

$$Y_{BUS} V^T = I^f \quad \text{--- (10)}$$

I^f ; 고장전류 벡터

V^T 는 식(10)의 Y_{BUS} 를 삼각화분해한 후 전후진 대입법에 의하여 쉽게 구해진다.

$$L U V^T = I^f \quad \text{--- (11)}$$

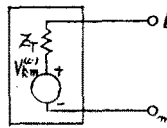
$$L J = I^f \quad \text{--- (12)}$$

$$U V^T = J \quad \text{--- (13)}$$

4.2 계통변화가 있는 경우

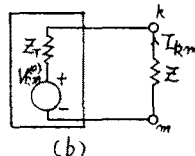
기준계통에서 Y_{BUS} 가 삼각화분해되고 모선 전압이 얻어진 후 계통 일부선로가 변화한 경우 새로운 모선전압을 보상법에 의하여 구한다.

모선 k와 페브난 선로가 변화한 경우 페브난 등가 회로 보상은 그림 3과 같다.

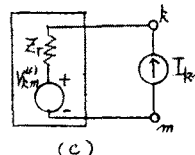


$$V_{km}^{(0)} = V_k^{(0)} - V_m^{(0)} \quad \text{(기준계통 전압)}$$

Z_k ; k, 페브난 지역서 본 계통 등가 임피던스



Z_f ; 계통변화분
 I_{fkm} ; Z에 흐르는 전류

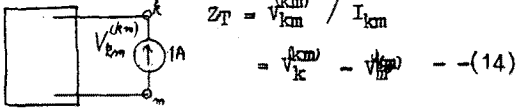


Z 대신 전류원으로 대치된 보상법

그림3. 페브난 등가의 보상법

따라서 계통 전압변환 전의 보류단 전류원 I_{km} 을
대칭한 것과 동일하다.

한편, 단위전류원을 그림4와 같이 연결하면



$$Z_T = \frac{V_k^{(km)}}{I_{km}} = \frac{V_k^{(km)}}{I_{km}} - \frac{V_k^{(km)}}{I_{km}} \quad \text{--- (14)}$$

그림 4. 단위전류원 연결 $V^{(km)} = \begin{bmatrix} V_1^{(km)} \\ V_2^{(km)} \\ \vdots \\ V_n^{(km)} \end{bmatrix}$
이 된다 --- (15)

그림 3, 4로부터 구하는 전압 V 는
 $V = V^0 + I_{km} V^{(km)} \quad \text{--- (16)}$

5. 결론
3상분 임피던스법에 의하여 대칭분 좌표계에서
2중고장 해석시 발생하는 문제점을 해결하는 동시
에 단일사고에 대한 고장해석도 용이하게 수행하
였다.

또한 계통 전압사 V_{bus} 를 직삼각좌표 해석법을
거치지 않고 이미 분석된 삼각인수를 이용하여
계통 전압 효과를 간단히 계산하였다.

참 고 문 헌

- (1) Paul M. Anderson, "Analysis of Faulted Power System", ISU Press/Ames, pp 273 - 419, 1973
- (2) J.M. Undrill, T.E. Kostyniak, "Advanced Power System Fault Analysis Method", IEEE Trans. Vol PAS-94, No 6 pp 2141 - 2150, 1975
- (3) Pradipta K. Dash, " Analysis of Power System Faults by Phase Impedance Matrix Method : (I),(II)", Regional Eng.college, India, 1971.
- (4) 장세훈 임박영 "전력계통의 고장해석 개선 연구", 1980
- (5) W.F. Tinney, "Compensation Methods for Network Solution by Optimally Ordered Triangular Factorization", IEEE Trans, Vol. PAS-91, pp123-127, 1972
- (6) W.F. Tinney, J.W. Walker, "Direct Solutions of Sparse Network Equations by Optimally Ordered Triangular Factorization", Proc. of IEEE 1801, Nov. , 1967
- (7) 新田日 俊造, "電力系統 技術計算의 应用", 電氣書院, pp121 - 194, 1981