

# 전압불평형의 표현방식에 관한 연구(I) - 선간전압 크기에 의한 불평형계수의 표현 -

論 文

52A-5-3

## A Study on the Representation of Voltage Unbalance: Part I—Voltage Unbalance Factor in terms of Line Voltage Magnitudes

鄭 勝 基\*  
(Seung-Gi Jeong)

**Abstract** - The voltage unbalance factor derived from symmetrical component analysis requires manipulation of complex quantities. To facilitate the calculation of the voltage unbalance factor in field applications, this paper proposes the method for calculating the voltage unbalance factor in terms of the line voltage magnitudes that are readily available in most practical circumstances. It is shown that the line voltages appear as circular phasor loci for given voltage unbalance factor, and a graphical chart is developed that can be used to determine the voltage unbalance factor in a straightforward manner avoiding calculation.

**Key Words** : unbalance, unbalance factor

### 1. 서 론

근래 배전계통의 전원품질에 관한 관심이 높아짐에 따라 전원품질의 중요한 요소 중의 하나인 전압불평형의 원인과 그 부작용을 억제하기 위한 방안에 많은 관심이 집중되어 왔다 [1-3]. 이에 따라 과거에 비해 현장에서는 전압 불평형을 측정하고 감시하여야 할 경우가 더 많이 발생하게 될 것으로 예상된다.

전압불평형을 표현하는 가장 일반적인 방법은 IEC에서 규정하고 있는 전압불평형계수(voltage unbalance factor)로서 정상분전압에 대한 역상분 전압의 비율로 정의된다 [4]. 그러나 대칭좌표법에 대한 지식의 유무와 상관 없이 현장 기술자들은 전압불평형의 정도를 나타내는 데에 있어 보다 간단한 방법, 예컨대 최대 전압이탈율과 같은 방법을 선호하는 경향이 있다. 그 이유는 전압불평형계수를 계산하기 위해서는 전압의 위상각을 측정하여야 할 뿐 아니라 복잡한 복소수 연산을 거쳐야 하기 때문인 것으로 생각된다.

이런 어려움에서 탈피하여 현장에서 전압불평형계수를 보다 용이하게 적용할 수 있게 하기 위하여 본 논문에서는 전압불평형을 쉽게 계산할 수 있는 방법을 제안하고 나아가 기존의 전압불평형 계수를 대신할 수 있는 몇가지 대안을 제시하고자 한다. 먼저 본 논문의 1부에서는 대부분의 배전계통에서 3상 선간전압의 크기는 직접적으로 측정이 가능하다는 점을 감안, 복소수 전압불평형계수를 선간전압의 크기만으로 나타내는 표현식을 유도하였다. 그리고 이보다 좀 더 직접적인 방법으로서 도표를 이용하여 전압불평형계수를

결정할 수 있는 방법을 제안하고 일정불평형계수 조건을 통하여 그 이론적 근거를 보이도록 한다.

### 2. 선간전압 크기에 의한 전압불평형계수

3상 상전압의 대칭좌표변환은 아래의 식으로 정의된다.

$$\begin{bmatrix} V_{\phi\phi} \\ V_{n\phi} \\ V_{z\phi} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $a = \exp(j2\pi/3)$ 이고 첨자  $\phi$ 는 상전압에 대한 대칭좌표성분임을 나타낸다. 이로부터 복소수로 표현된 전압불평형계수는 다음과 같이 정의된다.

$$u_{\phi} = u_{\phi} e^{j\alpha} = \frac{V_{n\phi}}{V_{\phi\phi}} \quad (2)$$

복소불평형계수의 크기는 정상분과 역상분 전압 크기의 비율을 나타내며 위상각은 정상분 전압과 역상분 전압의 위상차에 해당한다.

한편 위와 동일한 대칭좌표변환을 아래와 같이 선간전압에 대해서도 행할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{\phi} \\ V_n \\ V_z \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$u = u e^{j\alpha} = \frac{V_n}{V_{\phi}} \quad (4)$$

선간전압에 대한 대칭좌표성분과 상전압에 대한 대칭좌표성분 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

\* 正 會 員 : 光云大 電子情報大 電氣工學科 教授  
接受日字 : 2002年 7月 26日  
最終完了 : 2003年 4月 1日

$$V_p = \sqrt{3} V_{ms} e^{j\pi/6} \quad (5)$$

$$V_n = \sqrt{3} V_{ms} e^{-j\pi/6} \quad (6)$$

이로부터 평형상태에서 3상 선간전압과 상전압사이의 관계, 즉 크기와 위상의 관계가 대칭좌표변환을 행한 이후에도 그대로 성립되는 것을 알 수 있다. 단 식 (6)에서 음의 위상차가 나타나는 것은 역상분에서는 상순이 반대가 되는 것을 반영하고 있음에 유의할 필요가 있다. 식 (5)와 (6)으로부터 선간전압에 의한 복소 불평형계수와 상전압에 의한 복소 불평형계수 사이에는 다음의 관계식이 성립한다.

$$u = u_p e^{-j\pi/3} \quad (7)$$

따라서 두 전압불평형계수의 크기는 같으나 그 복소 표현에서 60도의 위상각 차이가 존재함을 알 수 있다.

일반적으로 3상 3선 계통의 경우 지락과 같은 고장상태가 아닌 정상적 운전상태에서의 전압불평형, 즉 3상에 배분된 부하의 불평형 등으로 야기되는 불평형 상태에서는 선간전압만이 실제적 의미를 가지며 영상분 전압이나 전류를 계산하여야 할 필요성이 없기 때문에 선간전압으로 불평형을 나타내는 것이 보다 일반적이라 할 수 있다. 그러나 전압불평형 계수의 정의가 영상분과 무관하기 때문에 이 관계는 지락사고가 존재할 경우나 3상 4선식에서도 그대로 성립한다.

식 (2)와 (4)로 표현되는 전압불평형계수를 계산하기 위해서는 정상분 전압페이서와 역상분 전압페이서를 먼저 구하여야 한다. 이를 위해서는 상전압 혹은 선간전압의 페이서를 알고 있어야 하므로 전압의 크기 뿐 아니라 위상을 함께 측정하여야 한다. 그러나 일반적으로 전압의 위상각은 특별한 기기를 사용하지 않은 이상에는 직접적으로 측정하기가 어렵다는 문제가 있다. 나아가 위상의 측정이 가능하다고 해도 대칭좌표성분을 구하기 위해서는 번거로운 복소수의 연산을 행하여야 한다.

그러나 선간전압에 관한 한 그림 1에서와 같이 3상 전압이 삼각형을 이룬다는 점을 감안하면 대칭좌표성분과 이에 따른 전압불평형계수를 세 선간전압의 크기만을 가지고 계산하는 것이 가능하다. 즉 세 선간전압의 크기는 3개 자유도를 가지기는 하지만 전압삼각형의 세 변의 길이가 결정되면 이들간의 위상관계가 유일하게 고정되므로 선간전압의 크기에 선간전압 페이서의 위상각 정보가 함께 포함되어 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 별도의 위상측정장비를 사용하지 않고서도 실제 현장에서 쉽게 측정이 가능한 선간전압의 크기에 관한 정보만으로도 대칭좌표성분 및 불평형계수를 구하는 것이 가능하다.

그림 1의 전압삼각형에서  $V_{ab}$ 를 기준 페이서로 취하면 전압 페이서들을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{ab} \\ V_{bc} &= V_{bc} e^{j\theta_1} \\ V_{ca} &= V_{ca} e^{j\theta_2} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서

$$\begin{aligned} \theta_{bc} &= \theta_1 - \pi \\ \theta_{ca} &= \pi - \theta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

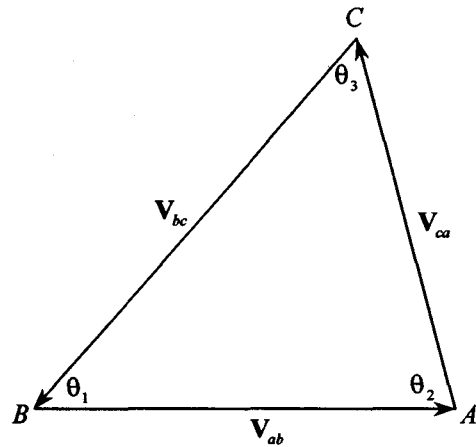


그림 1. 선간전압페이서의 전압삼각형  
Fig. 1. Line voltage triangle

그림 1에서 세 선간전압의 크기  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$ 가 주어져 있다고 하면 삼각형의 기본적인 성질로부터 아래와 같이 선간전압 페이서의 위상각을 선간전압의 크기로써 표현할 수 있다.

$$\sin \theta_{bc} = -\sin \theta_1 = -\frac{2K}{V_{ab}V_{bc}} \quad (10)$$

$$\cos \theta_{bc} = -\cos \theta_1 = -\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 - V_{ca}^2}{2V_{ab}V_{bc}} \quad (11)$$

$$\sin \theta_{ca} = -\sin \theta_2 = \frac{2K}{V_{ca}V_{ab}} \quad (12)$$

$$\cos \theta_{ca} = -\cos \theta_2 = -\frac{V_{ca}^2 + V_{ab}^2 - V_{bc}^2}{2V_{ca}V_{ab}} \quad (13)$$

식 (10)과 (12)에서  $K$ 는 전압삼각형의 면적으로서 다음의 식으로 표현된다.

$$K = \frac{1}{4} \sqrt{2V_{ab}^2V_{bc}^2 + 2V_{bc}^2V_{ca}^2 + 2V_{ca}^2V_{ab}^2 - V_{ab}^4 - V_{bc}^4 - V_{ca}^4} \quad (14)$$

이는 소위 '헤론의 공식(Heron's formula)'이라 불리우는 아래의 식에 해당한다.

$$K = \sqrt{s(s - V_{ab})(s - V_{bc})(s - V_{ca})} \quad (15)$$

여기서  $s$ 는 삼각형의 반둘레(semi-perimeter)로 다음과 같다.

$$s = \frac{1}{2}(V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}) \quad (16)$$

식 (8)을 (3)에 대입하고 (10)-(13)의 관계를 적용하면 대칭좌표성분이 다음과 같이 되는 것을 보일 수 있다.

$$V_p = \frac{1}{2} V_{ab} + \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{K}{V_{ab}} - j \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{V_{bc}^2 - V_{ca}^2}{V_{ab}} \quad (17)$$

$$V_n = \frac{1}{2} V_{ab} - \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{K}{V_{ab}} + j \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{V_{bc}^2 - V_{ca}^2}{V_{ab}} \quad (18)$$

이로부터 그 크기는 다음과 같이 된다.

$$V_p^2 = \frac{2}{\sqrt{3}} K + \frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{6} = \frac{2}{\sqrt{3}} K + \frac{1}{2} V_e^2 \quad (19)$$

$$V_n^2 = -\frac{2}{\sqrt{3}} K + \frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{6} = -\frac{2}{\sqrt{3}} K + \frac{1}{2} V_e^2 \quad (20)$$

여기서  $V_e$ 는

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{3}} \quad (21)$$

로 정의되는 '등가 3상 실효전압'이라 불리우는 값으로 불평형 3상계통에서 일반화된 전력이론을 기술하는 데에 널리 사용되는 개념이다[5]. 이는 대칭좌표성분과 다음의 관계를 갖는다.

$$V_e^2 = V_p^2 + V_n^2 \quad (22)$$

$V_e$ 의 크기를 갖는 평형 3상 전압을 가정하였을 때 이들로 이루어지는 전압삼각형의 면적은 다음과 같이 된다.

$$K_e = \frac{\sqrt{3}}{4} V_e^2 \quad (23)$$

이를 식 (19)와 (20)에 적용하면

$$V_p^2 = \frac{2}{\sqrt{3}} (K_e + K) \quad (24)$$

$$V_n^2 = \frac{2}{\sqrt{3}} (K_e - K) \quad (25)$$

가 되고 이로부터 전압불평형계수의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u = \sqrt{\frac{K_e - K}{K_e + K}} = \sqrt{\frac{1 - K/K_e}{1 + K/K_e}} \quad (26)$$

한편 복소수 전압불평형계수의 위상각  $\alpha$ 는 식 (17)과 (18)로 표현되는 역상분과 정상분 전압페이스의 위상차가 되며 다음과 같이 뉘를 보일 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(V_{bc}^2 - V_{ca}^2)}{2V_{ab}^2 - V_{bc}^2 - V_{ca}^2} \quad (27)$$

혹은

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_{bc}^2 - V_{ca}^2}{V_{ab}^2 - V_e^2} \quad (28)$$

한편 식 (7)에서 보는 바와 같이 상전압으로 계산된 복소불평형계수의 위상각은  $\alpha_\phi = \alpha + \pi/3$ 이 된다.

식 (26)으로부터 전압불평형계수의 크기는 불평형된 선간 전압의 전압삼각형 면적과 등가 평형 전압삼각형의 면적간의 비율에 의해 결정된다는 사실을 알 수 있다. 그리고 식

(24)와 (25)로부터 전압삼각형의 면적들 간에는 다음과 같은 관계가 성립하게 된다.

$$K_p + K_n = K_e \quad (29)$$

$$K_p - K_n = K \quad (30)$$

여기서  $K_p$ 와  $K_n$ 은 정상분 성분들에 의한 전압삼각형과 역상분 성분들에 의한 전압삼각형의 면적을 각각 나타낸다.

### 3. 일정 전압불평형 조건

위에서 유도한 바와 같이 선간전압의 전압삼각형이 주어지면 이에 해당하는 불평형계수의 크기와 위상이 주어진다. 이를 보다 직관적으로 표현하기 위하여 그림 2에 보인 것과 같은 전압삼각형 ABC가 있을 때 이것과  $V_{ab}$ 를 공유하고 있는 정삼각형 ABC<sub>0</sub>를 가정하도록 한다. 불평형 전압삼각형 ABC는 평형상태의 전압삼각형 ABC<sub>0</sub>의 꼭지점 C<sub>0</sub>를 C로 이동한 것으로 간주할 수 있다. 이때 꼭지점의 이동을 변위전압 페이스  $\Delta V$ 로 표현하도록 한다.  $V_{ab}$ 를 기준페이스로 취하고 변위전압 페이스를 사용하여 선간전압의 페이스를 나타내면 다음과 같이 된다.

$$V_{ab} = V$$

$$V_{bc} = a^2 V - \Delta V \quad (31)$$

$$V_{ca} = a V + \Delta V$$

식 (31)을 (3)에 대입하여 대칭좌표성분을 구하면

$$V_p = V - j \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta V \quad (32)$$

$$V_n = j \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta V \quad (33)$$

위의 표현식으로부터 주어진 전압삼각형에 대한 대칭좌표성분의 페이스를 그림 2에서와 같이 작도할 수 있다.  $V_n$ 은  $\Delta V$ 에 직교하며  $\Delta V$ 를 대각선으로 갖는 마름모 C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>CC<sub>2</sub>의 다른 대각선에 해당한다. 두 페이스의 상대적인 크기의 비율로부터 마름모를 구성하는 두 삼각형 C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>와 CC<sub>1</sub>C<sub>2</sub>는 정삼각형이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 이들은 역상분에 의한 전압삼각형을 나타내게 된다. 한편 식 (32)로 표현되는 정상분 전압의 페이스는 그림에서 BA<sub>1</sub>으로 나타나는데 이를 한 변으로 하는 정삼각형, 즉 정상분 전압에 의한 전압삼각형을 그리면 다른 한 꼭지점이 C<sub>1</sub>과 일치함을 알 수 있다. 이로부터 불평형 전압삼각형 ABC와 이에 대응하는 가상적인 평형전압삼각형 ABC<sub>0</sub>, 정상분 전압에 의한 전압삼각형 A<sub>1</sub>BC<sub>1</sub> 및 역상분 전압에 의한 전압삼각형 C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>와 CC<sub>1</sub>C<sub>2</sub> 사이에 흥미로운 기하학적 관련성이 있음을 알 수 있다.

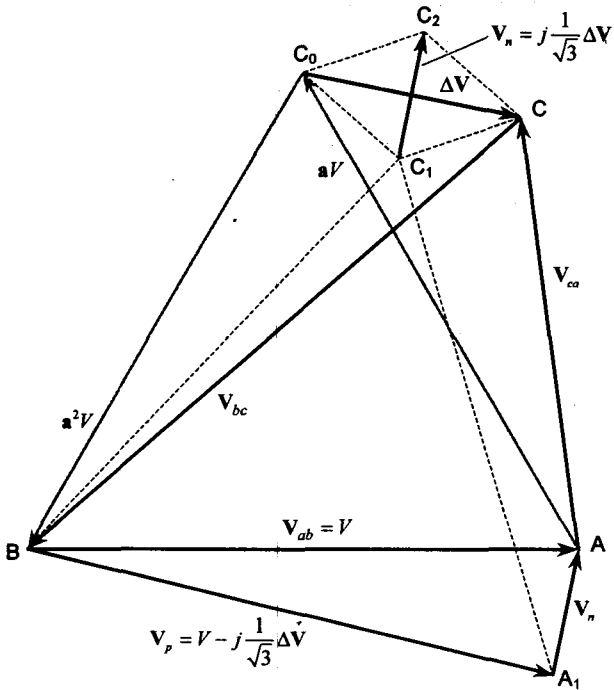


그림 2. 불평형 선간전압의 전압삼각형과 이에 대한 대칭좌표 성분  
 Fig. 2. Voltage triangles of unbalanced line voltages and associated symmetrical components

$V_p + V_n = V_{ab} = V$ 의 관계로부터 역상분전압은 다음과 같이 된다.

$$V_n = \frac{u}{1+u} V \quad (34)$$

따라서 (32)와 (33)으로부터 변위전압을 전압불평형계수로 나타내면

$$\Delta V = -j\sqrt{3} \frac{u}{1+u} V \quad (35)$$

이 되며 이는 주어진 복소 전압불평형계수를 갖는 선간전압들을 결정하는 데에 적용될 수 있다. 앞의 절에서는 선간전압 페이서로부터 전압불평형계수를 구하는 것을 방법을 설명하였다면 여기서는 그 반대로 복소 불평형계수가 주어졌을 때 식 (35)와 식 (31)을 사용하여 선간전압 페이서를 결정할 수 있음을 보여주고 있다.

그러나 통상적으로 전압불평형계수는 그 크기만으로 주어지기 때문에 이러한 경우에는 선간전압들이 유일하게 결정되는 것이 아니라 페이서 궤적으로 나타나게 된다. 식 (34)로부터

$$u = \frac{V_n}{V - V_n} \quad (36)$$

이므로  $u u^* = u^2$ 을 적용하면 다음의 관계식을 유도할 수 있다.

$$\left( V_n + \frac{u^2}{1-u^2} V \right) \left( V_n + \frac{u^2}{1-u^2} V \right)^* = \left[ \frac{u}{1-u^2} V \right]^2 \quad (37)$$

따라서

$$\left| V_n + \frac{u^2}{1-u^2} V \right| = \frac{u}{1-u^2} V \quad (38)$$

위의 식은 주어진 전압불평형계수의 크기에 해당하는 역상분 전압의 페이서가 원의 궤적을 그림을 의미한다. 식 (33)에서 변위전압의 크기는 역상분 전압의 크기와 직접 비례하므로 변위전압도 원의 궤적을 그리게 되며 이에 따라 식 (31)로 표현되는 선간전압들의 페이서 역시 원의 궤적을 그리게 된다.

그림 3은 이러한 페이서 궤적을 단위화된 축척 ( $V=1$ ) 상에서 복소 전압불평형계수와 함께 나타내고 있다. 변위전압의 궤적, 즉 전압삼각형의 꼭지점이 그리는 궤적은 그림에 보인 것과 같이 대칭좌표성분의 궤적에 비해  $\sqrt{3}$ 배의 반지름을 가지며 그 중심은  $C_0$ 에서 위쪽으로 이동한 위치에 놓이게 된다.

전압불평형이 증가할수록 궤적의 반지름은 증가하며 그 중심의 위치도 위쪽으로 상승한다. 전압불평형계수가 100%에 근접하면 궤적의 반지름은 무한히 커지고 궤적은 그림의 실수축상에 놓이게 된다. 한편 전압불평형계수가 작을 때는 식 (34)와 (35)를 다음과 같이 쓸 수 있다.

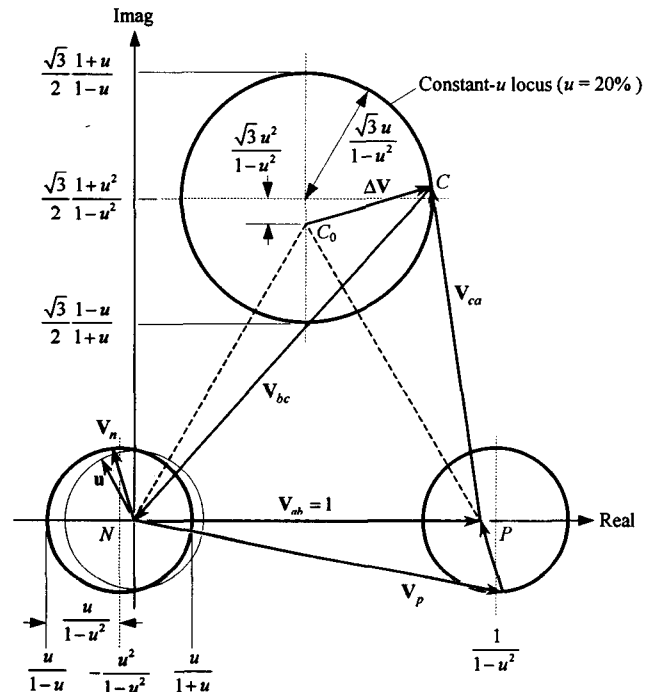


그림 3. 대칭좌표성분과 변위전압의 일정 전압불평형계수 궤적  
 Fig. 3. Constant voltage unbalance factor loci of sequence components and deviation voltage

Line Voltage Unbalance Chart

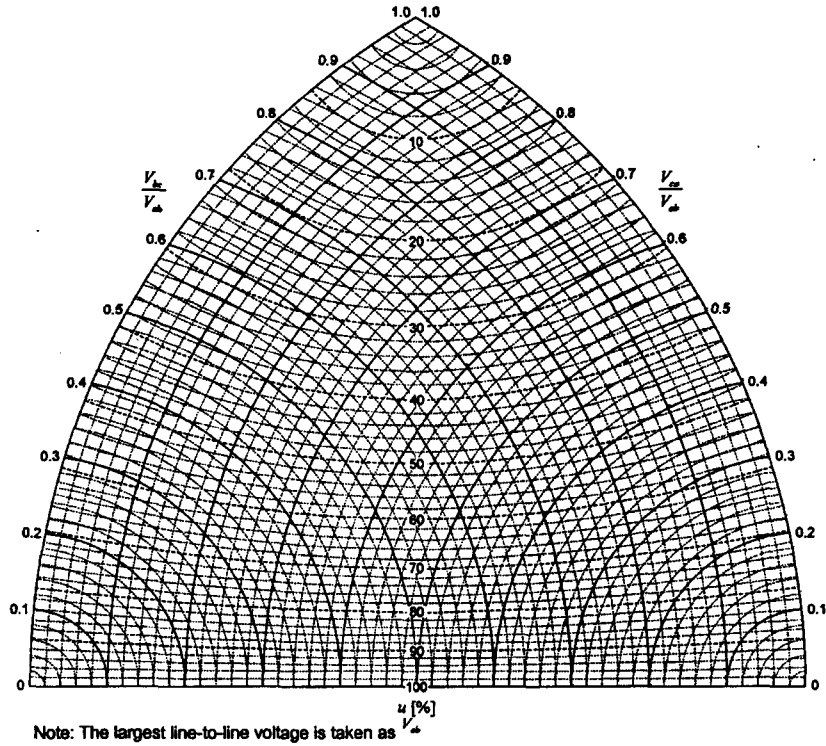


그림 4. 전압불평형 차트

Fig. 4. Line voltage unbalance chart

$$V_n \approx u V \tag{39}$$

$$\Delta V \approx -j\sqrt{3} u V \tag{40}$$

따라서 일반적인 표준에 따라 전압불평형계수가 2-3% 이내로 제한되는 경우[6] 역상분전압은 전압불평형계수에 직접 비례하게 되고 변위전압 궤적의 중심은  $C_0$ 에 거의 일치하게 된다.

4. 전압불평형 차트

만일 선간전압 중 가장 큰 것을 그림 3의 전압삼각형 밀변에 해당하는  $V_{ab}$ 로 설정한다면 전압삼각형 꼭지점이 그리는 궤적은 그림 4에 보인 범위 이내로 제한된다. 그림 4는 0에서 100%까지 2% 단위로 일정한 전압불평형계수에 대한 변위전압의 페이서 궤적을 나타내고 있다. 이와 함께 밀변의 양 끝을 중심으로 하여 최대전압에 대한 다른 두 선간전압의 크기의 비율을 나타내는 동심원호들이 그려져 있다. 이 그림은 주어진 선간전압들의 크기로부터 전압삼각형을 결정하고 이에 해당하는 전압불평형계수의 크기를 도식적으로 결정하는 도표로 사용될 수 있으며 '전압불평형 차트'라 명명하기로 한다.

그림 5는 이 전압불평형 차트를 이용하여 전압불평형계수를 결정하는 예를 보여주고 있다. 세 선간전압이 80V,

100V, 60V로 측정되었다고 가정하면 0.8과 0.6에 해당하는 두 원호의 교점으로부터 전압삼각형의 꼭지점 위치가 결정되고 그림으로부터 전압불평형계수가 약 30% 가량이 됨을 바로 알 수 있다. 선간전압의 상순이 바뀌게 되면 전압삼각형의 좌우가 뒤바뀌게 되기는 하지만 차트가 좌우대칭이므로 불평형계수의 크기는 달라지지 않는다. 이 차트를 사용하면 앞서 유도한 식 (14)나 (26)과 같은 표현식을 기억하거나 번거로운 계산을 거치지 않고도 실제 현장에서 적용하는데에 충분한 정확도로 전압불평형계수의 값을 구하는 것이 가능하다. 참고로 2절에서의 표현식을 적용한 계산결과는 아래와 같다.

$$V_{ab}=100 \text{ V}, V_{bc}=60 \text{ V}, V_{ca}=80 \text{ V}$$

$$s = \frac{1}{2}(V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}) = 120 \text{ V}$$

$$K = \sqrt{s(s - V_{ab})(s - V_{bc})(s - V_{ca})} = 2400$$

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{3}} = 81.6 \text{ V}$$

$$K_e = \frac{\sqrt{3}}{4} V_e^2 = 2887$$

$$u = \sqrt{\frac{K_e - K}{K_e + K}} = 0.303 = 30.3\%$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_{bc}^2 - V_{ca}^2}{V_{ab}^2 - V_e^2} = 25.9^\circ$$

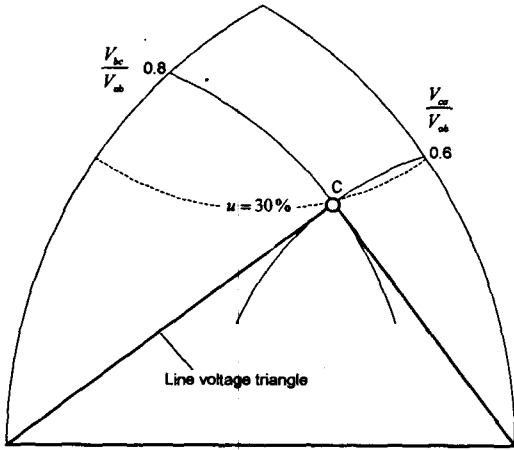


그림 5. 전압불평형 차트를 사용한 전압불평형계수의 결정  
 Fig. 5. Determination of voltage unbalance factor with line voltage unbalance chart

5. 결 론

대칭좌표변환에 기반을 두고 있는 전압불평형계수는 복소수 페이서의 비율로써 주어지므로 이를 계산하기 위해서는 전압의 위상 측정과 복소수 연산이 필요하다. 그러나 세 선간전압의 크기가 주어진다면 본 논문의 2절에서 유도한 표현식을 적용함으로써 복소 전압불평형계수의 크기 및 위상을 비교적 쉽게 결정할 수 있다. 이 표현식은 불평형 선간전압의 전압삼각형과 이에 대응하는 등가실효전압에 의한 정삼각형의 면적 사이의 기하학적 관계에 의해 전압불평형계수가 표현됨을 보여주고 있다.

또한 선간전압의 페이서로 이루어진 전압삼각형으로부터 대칭좌표성분의 페이서를 쉽게 작도할 수 있음을 보였다. 나아가 이러한 기하학적 관계로부터 전압불평형계수가 주어져 있을 때 이에 대응하는 선간전압들의 페이서는 전압불평형계수의 위상각이 변화함에 따라 원의 궤적을 그리게 됨을 보였다. 이러한 일정 불평형계수 조건을 적용, 4절에서는 전압불평형계수를 도식적으로 구할 수 있는 전압불평형차트를 제안하였다.

앞서 유도된 표현식을 사용하면 전압의 위상각을 측정하고 복소수를 취급하는 번거로움을 피할 수 있기는 하지만 여전히 삼각형의 면적공식과 관련된 다소 복잡한 계산을 하여야 한다. 그러나 전압불평형 차트를 사용하면 주어진 선간전압 측정치로부터 전압불평형계수를 즉각적으로 구할 수 있으므로 산업현장에서 쉽게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. R. Smith, H. R. Braunstein, and J. D. Borst, "Voltage unbalance in 3- and 4-wire delta secondary systems," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 3, no. 2, pp. 733-741, April 1988.
- [2] K. Haddad and G. Joos, "A fast algorithm for voltage unbalance compensation and regulation in faulted distribution systems," Conf. Rec. APEC 1998, pp. 963-969.
- [3] P. Lerley, "Applying unbalance detection relays with motor loads," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 35, no. 3, pp. 689-693, May/June 1999.
- [4] IEC Standard 61000-4-27: Testing and measurement techniques Unbalance, immunity test, August 2000.
- [5] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations, "Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: A discussion," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 11, no. 1, January 1996.
- [6] A. Robert, "Supply quality issues at the interface between power system and industrial consumers," 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 1998, pp. 182-189.

저 자 소 개



정 승 기 (鄭 勝 基)

1982년 서울대학교 전기공학과 졸업. 동 대학원에서 1984년에 공학석사, 1988년에 공학박사학위 취득. 1987년부터 현재까지 광운대학교 전기공학과 교수로 재직중. 1994년 Texas A&M 대학 방문연구. 전기학회 논문상, 전력전자학회 논문상, 춘강학술상 등 수상. 주 관심분야

는 산업용 인버터 제어 및 응용, 전력품질, 일반화된 전력 이론 등.

Tel: 02-940-5146

Fax: 02-943-7195

email: sgjeong@daisy.kw.ac.kr