고조파와 Δ(Delta) 결선

1. 주기함수의 전개

모든 주기함수 $F(wt)$는 퓨리에(Fourier) 급수로 표현될 수 있으며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F(wt) = a_0 + \sum_1^{\infty} a_n \cos nwt + \sum_1^{\infty} b_n \sin nwt \;-----(1)$$

여기서,

$$a_n \cos wt + b_n \sin wt = A \sin(nwt + q_n) \;-------(2)$$

이라 두면, 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$F(wt) = A + \sum_1^{\infty} A_n \sin(nwt + q_n) \;-----------(3)$$

즉, 비정현 주기함수는 직류분 A 와 각각의 각주파수(w, $2w$, $3w$, ..)로 된 정현파 교류함수(최대치 A_1, A_2, …, 그리고, 위상차 q_1, q_2, …)의 합으로 나타내어 진다.

2. 고조파의 차수별 Grouping

가. 3 배수 고조파(3n 고조파 , n = 1, 2, 3, ..)

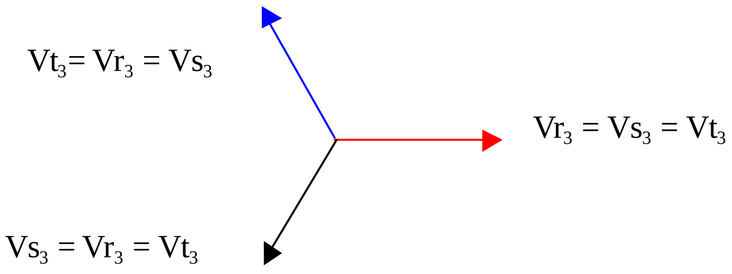
3 고조파를 예를 들어, 각 상의 3 고조파를 (식 3)의 형태로 표현하면(식을 간단히 하기 위해 q_3만큼 Shift 하여 q_3=0 으로 가정) 아래와 같다

$$Vr_3 = V_3 \sin(3wt)$$
$$Vs_3 = V_3 \sin 3(wt - 120°)$$
$$Vt_3 = V_3 \sin 3(wt + 120°)$$

즉, 각 상별로 동일한 고조파가 위상차만 120°씩 유지하고 있다고 볼 수 있다.

이들 3 고조파의 주기는 120°(360°/3)이며, Vs_3는 Vr_3보다 1 주기(120°) 만큼 뒤져 있고, Vt_3는 Vr_3보다 1 주기(120°) 만큼 앞서 있다. 따라서 Vr_3, Vs_3, Vt_3는 모두 동상임을 알 수 있다.

3 조파의 경우 벡터도를 그려보면 다음과 같다.



마찬가지로 해석해보면 6, 9, 12, …등 3 의 배수 고조파(3n 고조파)는 각 상의 전압이 모두 동상임을 알 수 있다.

나. (3n + 2) 고조파 (n = 0, 1, 2, ..)

2 고조파의 경우, 각 상의 2 고조파를 식 (3)의 형태로 표현하여 보면

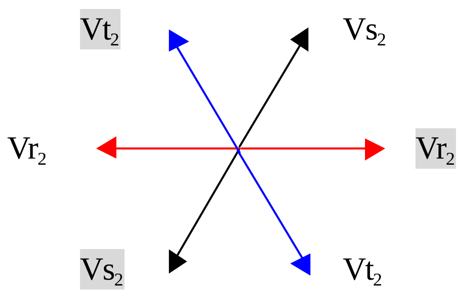
$$Vr_2 = V_2 \sin 2wt$$
$$Vs_2 = V_2 \sin 2(wt - 120°)$$
$$Vt_2 = V_2 \sin 2(wt + 120°)$$

로 표현된다.

이들 2 고조파는 주기가 180°(360°/2)이며, Vs_2는 Vr_2보다 2/3 주기(120°) 만큼 뒤져 있고, Vt_2는 Vr_2보다 2/3 주기(120°) 만큼 앞서 있다. 따라서 Vt_2는 Vr_2보다 1/3 주기(60°) 만큼 뒤져 있다.

즉, 상의 순서가 Vr_2, Vt_2, Vs_2(Vr_2, Vs_2, Vt_2가 아님)로서 기본파와 비교해 볼 때 역상이다.

2 조파의 경우 벡터도를 그려보면 다음과 같다.

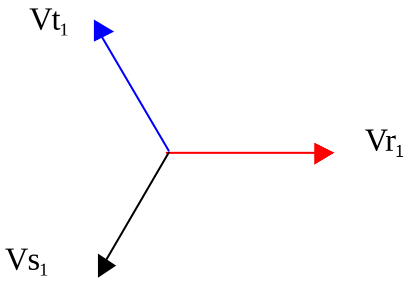


이와 마찬가지로 해석해보면 5, 8, 11, …등 (3n+2) 고조파는 모두 역상 성분임을 알 수 있다.

다. (3n + 1) 고조파 (n = 0, 1, 2, ..)

또한 마찬가지 방법으로 계산을 해 보면 1, 4, 7, … 등 (3n+1) 고조파의 경우는 모두 정상성분임을 알 수 있다.

기본주파수에서의 벡터도는 주지하다시피 다음과 같다.



3. 고조파 차수의 그룹별 특성

가. 3 배수 고조파

1) 각 고조파별 위상과 크기가 같다. 즉, 동상이다.

2) 변압기의 Δ결선에서 그 성분은 전달되지 않는다.(상쇄된다.) 왜냐하면, Δ결선에서는 선간전압(상전압의 차이)을 변압하는 것이므로 선간전압에서 3n 고조파는 동상이 되어 상쇄되는 것이다.
($Vrs_3n = Vr_3n - Vs_3n = 0$, $Vst_3n = Vs_3n - Vt_3n = 0$, $Vst_3n = Vs_3n - Vt_3n = 0$)

즉, 3n 고조파는 변압기의 Δ결선을 통과하여 전달되지 않는다.
다시 말해서 변압기의 Δ권선은 3n 고조파에 대한 Filter 역할을 하며, 3n 고조파는 권선내부에서 열로 소모된다.

3) 영상전압 검출용 Open Δ결선에서는 R, S, T 각 상전압의 합으로 나타나게 되는데, 각 상전압의 위상과 크기가 같으므로 결국 R 상(또는 S 상 또는 T 상) 전압의 3 배가 된다.

4) 다시 말해, 실제 지락이 발생하지 않은 경우라도 선로에 3n 고조파가 있으면 영상전압이 검출된다. 이 것은 Converter, Inverter 등 고조파 원이 있는 선로에서 지락 과전압 계전기(64G)가 오동작을 일으키는 원인이 되기도 한다.

나. (3n+2) 고조파

1) 이 것은 역상성분이다. 이 것은 회전기에서 순방향이 아닌 역방향으로 회전하려는 힘을 갖게 된다.
2) 변압기의 Δ결선에서 그 성분은 전달된다.(상쇄되지 않는다.)
3) 영상전압 검출용 Open Δ결선에서는 R, S, T 각 상전압의 합으로 나타나게 되는데, 실제 지락이 발생한 경우에만 영상전압이 검출된다. (실제 지락이 발생하지 않는 경우는 그 합이 0 이다.)

다. (3n+1) 고조파

1) 기본파의 성질과 동일한 정상성분이다.
2) 변압기의 Δ결선에서 그 성분은 전달된다.(상쇄되지 않는다.)
3) 영상전압 검출용 Open Δ결선에서는 R, S, T 각 상전압의 합으로 나타나게 되는데, 실제 지락이 발생한 경우에만 영상전압이 검출된다. (실제 지락이 발생하지 않는 경우는 그 합이 0 이다.)