

4극 저압차단기 N상 Trip장치를 사용한 영상고조파 안전성 개선방안

(Safely Improving Method to Zero-Harmonics Current with 4-Pole Low Voltage Circuit Breaker Equipped N-phase Trip Device)

기재옥* · 김주철 · 최창규
(Che Ouk Ki · Ju Chul Kim · Chang Kyu Choi)
서울산업대학교 대학원 전기공학과

요 약

3상 4선식 배전방식에서 비선형 부하증가로 인한 제 3고조파 전류발생은 선로의 중성선 및 기기를 과열시키는 원인으로 작용하고 있다. 따라서 고조파에 의한 역률저하 및 기기, 선로 등을 안전하게 보호할 필요가 있다. 본 논문에서는 제 3고조파 전류로 인한 사고사례를 조사하고 고조파 분석 및 부하 불평형 등을 분석하였다. 이를 통해 가장 경제적인 4극 저압차단기를 사용하여 중성선의 과전류로부터 선로 및 기기를 보호하는 방법을 제시하였다.

Abstract

In 3-phase 4 wire system, appearance of the 3rd harmonic current by increasing non-linear load is the one of causes overheating neutral wire of power line, and apparatus. So it is necessary to protect power-factor decreasing by the 3rd harmonic, and electric power apparatus, and line safely. in this study, power system accidents caused by the 3rd harmonic were investigated, then harmonic components analysis and unbalanced load analysis got accomplished. As result, we proposed the method to protect the power line and apparatus from over-current of neutral line by using the most economic 4-pole low voltage circuit breaker.

Key Words : 3rd Harmonic, Over Current, 4-Pole Low Voltage Circuit Breaker

1. 서 론

반도체 기술의 발전과 고속전력용 스위칭 소자들의 발전은 생활전반에 편리함과 생산성향상, 에너지절약 등 생활전반에 크게 공헌하고 있다.

전력소자를 사용하는 기기는 사용량이 증가되고 있으며 이들 기기에서 발생하는 고조파는 전력계통에 접속된 기기에 과열 및 소손 등의 문제점을 발생시키고 있다.

본 논문은 제 3고조파 전류로 인한 사고사례를 조사하고 고조파에 대한 영향을 분석하였다.

과전류로부터 중성선을 보호하기 위해서는 국내 4P 저압용차단기에 별도의 안전장치가 필요하다. 차단기의 N상에 과전류 Trip장치(소자)를 사용하여 영상고조파로부터 선로 및 기기를 보호할 수 있는 개선방안을 제시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 푸리에 급수(Fourier Series)

평형 3상 4선식 배전계통은 선형(Linear) 부하에 대해 각 상전류의 합이 중성선 전류이며 운전시 중성선에 흐르는 전류는 아래와 같다.

$$I_M = I_{R1} + I_{S1} + I_{T1} \tag{1}$$
$$= I_m \sin \omega t + I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) = 0$$

제 3고조파에 의해 각 상전류는 비정현파(Non-sinusoidal)가 되며 중성선 전류는 증가한다. 제 3고조파 유입에 따른 전류 변화는 아래와 같다.

$$I_{R3} = I_m \sin 3\omega t \tag{2}$$

$$I_{S3} = I_m \sin 3\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$= I_m \sin 3\omega t - I_m \sin 2\pi = I_m \sin 3\omega t$$

$$I_{T3} = I_m \sin 3\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$= I_m \sin 3\omega t - I_m \sin 4\pi = I_m \sin 3\omega t$$

이때 중성선에 흐르는 전류는 각상의 전류의 합이며 식 (3)과 같다.

$$I_{N3} = I_{R3} + I_{S3} + I_{T3} \quad (3)$$

$$= I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3\omega t = 3I_m \sin 3\omega t$$

식 (3)과 같이 영상고조파는 평형부하에서 중성선에 스칼라의 합인 3배의 전류를 흐르게 한다.

2.2 Matlab Simulation

식(1)을 Matlab으로 Simulation 하였다. 그림 1은 Simulation결과이다.

- Ir1 : R상 전류(I_{RMS}=10[A])
- Is1 : S상 전류(I_{RMS}=10[A])
- It1 : T상 전류(I_{RMS}=10[A])
- In1 : N상 전류는 흐르지 않는다.

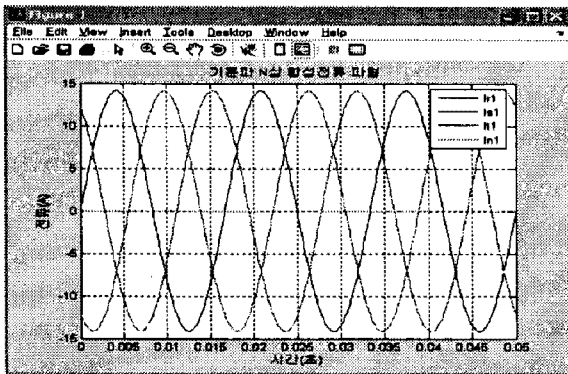


그림 1. 평형 3상전류 Simulation
Fig 1. Simulation of Balanced Three Phase system current

식(2)와 식(3)을 Matlab으로 Simulation하였다. 그림 2는 Simulation 결과이다.

- Ir3 : R상 제 3고조파 전류(I_{RMS}=10[A])
- Is3 : S상 제 3고조파 전류(I_{RMS}=10[A])
- It3 : T상 제 3고조파 전류(I_{RMS}=10[A])
- In3 : N상 합성전류

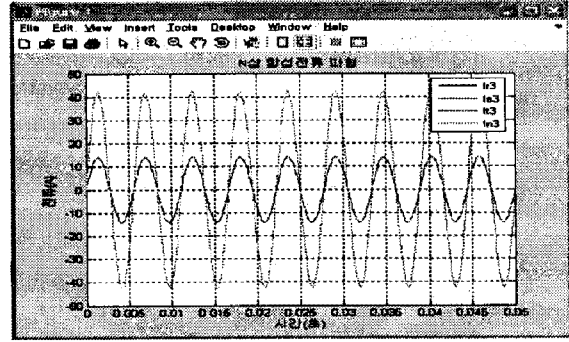


그림 2. 평형 3상 제 3고조파 전류 Simulation
Fig 2. Simulation for the 3rd harmonic component in Balanced Three Phase system

그림 2의 중성선에는 합성전류가 3배로 나타나고 있다.

2.3 중성선 소손 가능성

그림 2과 같이 영상분 고조파에 의해 중성선에 많은 전류가 흐르게 되면 중성선이 과열된다. 또한 제 3고조파는 기본파의 3배인 180(Hz)의 주파수성분을 갖기 때문에 표피효과에 의해 전선 유효단면적을 감소시킨다[1].

3. 고조파에 의한 사고 사례

3.1 ○○공항

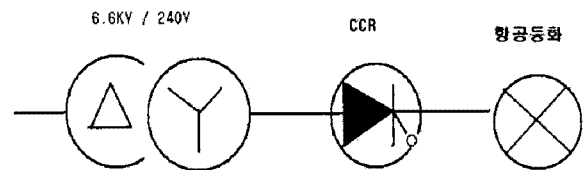


그림 3. ○○공항 항공 유도등[2].
Fig 3. Taxiway light of ○○ airport

항공등화설비는 전류를 일정하게 유지시켜 주는 장치로 CCR(Constant Current Regulator)을 사용하여 제어하고 있다. 이러한 단상 제어장치에서는 영상분 고조파가 발생되고 있다.

표 1. ○○ 공항 고조파 측정 사례[2].
Table 1. Harmonic component of ○○ airport power source for lights.

구분	상전류(A)	THD(%)
R	97.2	52.9
S	114.8	57.5
T	60.5	70.3
N	136.6	401.2
불평형율(%)	26.8	

표 1을 참조하여 기본파 전류값을 수식으로 나타내었다.

I_{THD} : 전류종합 고조파 왜형율(%)

I_{ef} : 전류 실효값[A]

I_1 : 기본파 전류값[A]

I_n : n차 고조파[A]

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (4)$$

$$I_{ef} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad (5)$$

THD가 52.9%이므로 식 (4)에 의해

$$0.529 = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (6)$$

식 (6)의 양변을 제곱하면

$$0.279841 I_1^2 = I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2 \quad (7)$$

R상의 전류 실효값이 97.2[A]이므로 식(5)의 양변을 제곱하면

$$97.2^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2 \quad (8)$$

식 (8)에 식 (7)을 대입하면

$$9447.84 = I_1^2 + 0.279841 I_1^2 = 1.279841 I_1^2 \quad (9)$$

$$\therefore I_1^2 = \frac{9447.84}{1.279841} = 7382.041$$

$$\therefore I_1 = \sqrt{7382.041} \approx 85.9$$

표 2. ○○ 공항 고조파 차수[2].
Table 2. Harmonic order of ○○ airport power line.

상차수	R상		N상	
	$I_{THD}[\%]$	I_{RArms}	$I_{THD}[\%]$	I_{RArms}
1	100	85.9	100	33.03
3	48.9	42	393	129.8
5	11.7	10	30	9.91
7	13.1	11.25	16	5.28
9	4.9	4.2	29	9.58

표 1과 같이 중성선에 영상고조파 전류가 136.6[A]로 상전류 보다 크게 흐르고 있다. 표 2에 의하면 중성선에 흐르는 전류는 제 3고조파 전류가 129.8[A]로 대부분을 차지한다. 기본파 전류는 불평형으로서 33.03[A]이며 중성선에 흐르는 전류는 주로 3조파임을 알 수 있다.

3.2 ○○ 자동차 시험실

전압/전류/주파수				
	L1	L2	L3	00 MP
U_{rms}	220.9	220.7	220.2	1.0
U_{pk}	313.8	314.3	314.0	2.3
CF	1.42	1.42	1.43	OL
Hz	60.01			
R_{rms}	1.3	1.3	1.3	0.2
R_{pk}	2.3	2.1	2.0	0.4
CF	1.73	1.64	1.51	OL

그림 4. ○○ 자동차 시험실 전압, 전류, 주파수 값
Fig 4. Voltage, current, frequency of power line in ○○ Auto-mobile laboratory.

고조파 테이블				
Har	L1	L2	L3	00 MP
THDxr	8.9	7.4	6.1	10.3
H3xr	3.5	1.6	1.5	1.6
H5xr	6.6	5.6	4.7	1.7
H7xr	4.0	3.9	3.1	0.9
H9xr	0.3	0.7	0.7	1.6
H11xr	1.5	1.8	1.1	1.8
H13xr	1.3	0.9	1.1	2.4
H15xr	0.3	0.3	0.4	0.8

그림 5. ○○ 자동차 시험실 고조파 테이블
Fig 5. Harmonic component table of ○○ Auto-mobile laboratory power line.

그림 4를 분석하면

- 전압은 R상 : 220.9[V], S상 : 220.7[V], T상 : 220.2[V]로 평형을 이루고 있다.

- 전류값은 각상이 평형을 유지하고 있으나 중성선에는 0.2[A]가 흐르고 있다.

- 이 현상은 부하 불평형은 없으나 고조파에 의해(THD: 10.3%) 영상전류가 흐르는 현상이다.

4. 4P 저압차단기의 특성

- 각 상별로 Trip소자(장치)를 가지고 있으나 N상은 Trip소자(장치)가 없다.
- N상은 선 접촉 후 Trip구조를 가지고 있다.
- 각 상의 Trip신호를 Trip Bar에 전달한다.

5. 결 론

고조파에 의한 중성선 과전류로부터 선로를 보호하는 것은 매우 중요하다.

본 논문은

- 제 3고조파에 의한 중성선 과전류 현상에 대해 분석을 하였으며
- 고조파로 인한 과전류 현상에서 선로를 보호하기 위한 방법은 중성선 선로이상 시 이를 감지하여 차단할 수 있도록 하며
- N상은 선 접촉 후 Trip구조를 가지고 있으며 Trip소자(장치)에 따라서 차단기의 정격전류나 정격전류 이하의 Trip소자(장치)를 사용하는 경우 과전류로부터 보호를 할 수 있다.
- 가장 경제적인 방법은 4P 저압차단기의 N상에 과전류 Trip소자(장치)를 삽입하여 과전류로부터 기기 및 선로를 보호한다.
- 단락사고 시 N상 Trip소자(장치)에 의해 정격 단락성능도 향상이 된다.

References

- (1) “중성선영상고조파 전류 측정사례와 저감대책”, 전력기술인, 기술사 강창원, pp.25, 2002. 08.
- (2) “전력설비진단기술 고조파 Solution”, pp.36.
(주) 피에스티테크, (주) 서울유일엔지니어링.