

건축전기설비 기술사 문제해설

김세동 | 두원공과대학 교수, 공학박사, 기술사 e-mail:ksdsky1@hanmail.net

문제

악성부하의 종류와 그 악성부하가 지중케이블에 미치는 영향에 대하여 설명하시오.

◎ 본 문제를 이해하기 위해서는 스스로 문제를 만들고, 답을 써보시오. 그리고, 기억을 오래 가져갈 수 있는 아이디어를 기록한다.

1. 악성 부하의 종류

항 목	Key Point 및 확인 사항
가장 중요한 Key Word는?	악성부하
악성부하	비선형부하를 의미하며, 상용전압과 전류 파형 사이의 관계가 비직선상인 경우를 말하며, 정류 회로를 갖는 부하가 해당된다. 대표적인 부하는 컴퓨터에 내장된 SMPS 등이 있다.
지중케이블이란?	지하 관로 또는 직접매설을 하여 지중에 부설된 케이블을 말하며, 부설방법으로는 직매식, 관로식, 전력구식, 덕트식 등이 있다. 일반적으로 장래의 계통구성, 송전용량, 경과지, 케이블 종류, 시공조건 등을 고려하여 부설방식을 선정한다.

해설



악성 부하는 비선형 부하 또는 고조파 발생원을 의미하며, 각종 사이리스터 및 반도체 응용기기, 전력전자 기술 응용기기 등이 해당된다. 이와 같은 기기들은 교류전력을 그대로 사용하지 않고 직류

 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1986년 동대학원 졸업,
 2000년 서울시립대학교 전기전자공학부 대학원 졸업(공학박사),
 한국전력공사 건설처 근무, 한국건설기술연구원 수석연구원 역임,
 현재 두원공과대학 교수, 건축전기설비기술사,
 당 협회 편수위원, 내선규정전문위원회 위원

로 변환하여 사용하거나 정현파의 일부를 사용하게 된다. 이와 같이 교류를 직류로 바꾸어 사용하는 과정에서 입력 측의 전류가 크게 일그러져 있음을 알게 된다. 이와 같은 고조파 성분이 발생하여 전기적인 장해를 야기한다.

대표적인 것으로는 TV, 음향기기 등의 가전제품을 비롯하여 복사기 등 각종 OA기기, PLC 등 각종 FA기기 및 컴퓨터에 내장된 SMPS(switching mode power supply) 등이 있으며, 산업현장에서 많이 사용되는 인버터(VVVF)와 콘버터 등이 해당된다.

2. 악성 부하가 지중케이블에 미치는 영향

(1) 케이블의 전력손실 증가

케이블의 전력손실은 I^2R 로 표현된다. 여기서, 전류 I 는 고조파 왜형률에 의해 증가되어질 수 있고, 저항 R 은 직류 저항값과 교류 표피효과 및 근접효과에 의해 결정된다.

① 고조파전류에 의한 케이블의 전력손실

고조파전류에 의한 전선 허용전류의 변화를 고려할 경우 우선 기준이 되는 전류값에 고조파 함유량에 의한 전류 변화량을 알아야 한다. 전류 파형에 고조파 성분이 함유되는 경우의 실효치는 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\sum I^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$$

따라서, 고조파 전류 성분으로 인해서 케이블의 허용전류가 감소하게 된다.

② 교류 도체 저항

도체 온도를 일정하게 할 경우 교류 도체 저항은 다음과 같이 나타낸다.

$$R_{AN} = R_D \times (1 + \lambda_S + \lambda_P)$$

여기서, α : 특정 온도에 있어서의 직류 도체 저항[Ω], λ_S : 표피효과 계수, λ_P : 근접효과 계수를 나타낸다. 동일 온도 조건에서 기본파 전류에 의한 교류 도체 저항과 고조파 전류에 의한 도체 저항의 비를 이라 하면, 다음과 같이 나타낸다.

$$\beta_n = \frac{R_{An}}{R_{A1}} = \frac{1 + \lambda_{Sn} + \lambda_{Pn}}{1 + \lambda_S + \lambda_P}$$

따라서, 고조파 성분으로 인해서 케이블의 저항값이 조금 커지기 때문에 케이블의 허용전류가 감소하게 된다. 표 1은 고조파 전류에 대한 교류 도체 저항비를 나타낸 것이다.

(2) 고조파로 인한 역률 저하로 손실 증가

1.

도체 종류	직류 도체 저항	기본파(60Hz)			제3조파(180Hz)			제5조파(3000Hz)		
		표피효과 계수	근접효과 계수	교류도체저항	표피효과 계수	근접효과 계수	교류도체저항	표피효과 계수	근접효과 계수	교류도체저항
600V CV 100mm ² 1C	0.233	0.00217		0.234	0.0193		0.237	0.0521		0.245
600V CV 100mm ² 3C	0.238	0.00208	0.0022	0.239	0.0185	0.0188	0.247	0.05	0.047	0.262

고조파로 인한 역률 계산은 다음과 같다.

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \times \cos\theta_1$$

따라서, 고조파에 의한 전류 파형이 왜곡되면, 시스템의 역률이 저하함을 알 수 있고, 고조파 왜율이 100%인 경우에 역률은 기본파 성분만 있을 경우에 비해 70% 수준이 된다.

(3) 중성선의 영상고조파전류로 인한 손실 발생 및 장애

3상 4선식 회로의 중성선에는 각 상의 부하가 평형하고 있더라도 부하에 고조파 전류 발생원이 있으면, 6N-3의 영상분 고조파 전류의 3배의 전류가 흐르게 된다. 이러한 현상으로 인하여 중성선의 과열을 초래하게 된다.

▶ 추가 검토 사항

공학을 잘 하는 사람은 수학적 사고를 많이 하는 사람이란 것을 잊지 말아야 한다. 본 문제에서 정확하게 이해하지 못하는 것은 관련 문헌을 확인해 보는 습관을 길러야 엔지니어링 사고를 하게 되고, 완벽하게 이해하는 것이 된다는 것을 명심하기 바랍니다. 상기의 문제를 이해하기 위해서는 다음의 사항을 확인바랍니다.

1. 근접효과(Proximity Effect)에 대해서 정확하게 알아 두어야 한다.

2개의 평행으로 위치한 원형 전선에 교류전류가 흐를 때, 교류 전류는 도선의 주위를 균일하게 분포되어 흐르지 않는다. 각 전선의 자계는 다른 전선의 전류 흐름에 영향을 미치며, 이것은 전류의 흐름이 도선 내에서 균일하지 않게 만들 뿐만 아니라 도선의 저항을 증가시킨다. 평행하게 놓인 원형의 전선에서 나타나는 이 현상을 근접효과라 한다.

2. 고조파에 대해서도 정확하게 알아 두어야 하며, 고조파가 전기설비에 미치는 영향에 대해서는 최근에 실무적으로 관심이 많은 분야이므로 깊게 알아 둘 필요가 있다.

기본이 되는 주파수를 기본파 또는 기본주파수라고 한다. 고조파는 기본주파수에 2배, 3배, 4배와 같이 정수의 배에 해당하는 물리적 전기량을 말한다. 즉, 우리나라의 경우 제2고조파는 120Hz, 제3고조파는 180Hz의 주파수를 갖는다. 다시말해서, 고조파는 '정현파가 아닌 파형'을 말하며, 왜형파 혹은 왜곡파라 하고, 영문으로 'Harmonic' 이라고 한다.

3. 3상4선식 배전방식에서 중성선에는 불평형전류 외에 영상고조파전류 성분으로 인하여 상전류보다 큰 전류가 흐르게 됨으로써 중성선에 여러 가지 장애를 발생시키고 있다. 이에 대한 정확한 발생원리와 장애에 대해서 확인해 두어야 한다.

[참고문헌]

- 장진, 전력시스템의 전력손실(근접효과, 표피효과 및 와전류손실), 전력기술인, pp.32-35, 6월, 2000
- 김인수 외, 고조파 사용실태 조사 및 개선방안 연구, 한국전력공사, 2002