

무정전전원장치의 역률개선을 위한 동조필터 설계

김수열, 김장목

한전 전력연구원

Design of a single tuned filter for power factor improvement of UPS

Su-Yeol Kim, Jang-Mok Kim

Korea Electric Power Corporation Research Institute

Abstract

일산복합화력발전소 소내 중요설비에 전력을 공급하는 무정전전원장치의 출력측 전압파형의 종합 왜율을 IEEE 출력기준인 5%로 억제하여 설비의 안정적 동작을 확보하기 위하여 고조파 분석을 행하였다. 일산복합의 무정전전원장치는 제어전원공급용으로서 부하가 콘덴서 입력형 정류기의 특성을 갖고 있으므로 3, 5, 7차의 주요 고조파를 포함하고 있다. 따라서 이들 각각에 대하여 부하측에서 본 무정전전원장치의 임피던스를 작게 하여 전압종합왜율을 5%이하로 낮추어야 한다. 무정전전원장치의 출력전압, 전류 취득 자료를 분석하여 해당 차수의 고조파 제거와 역률개선을 위한 동조필터의 커패시터와 리액터의 용량을 결정하는 방법을 정리하였다.

서론

우리나라의 산업 경제의 발전과 생활 수준의 향상으로 전력의 수요는 증가하여 왔으며, 공급 신뢰도가 높은 전원설비에 대한 요구 또한 높아지고 있다. 이에 따라 한전에서는 설비의 신뢰성을 높여 전기 품질 향상을 위해 노력하여 왔으나, 천제지변 등의 전원장애나 정전으로부터의 완전한 보호란 사실상 불가능하다. 이러한 현실에서 자동화 제어용기기, 의료용 장비, 발전전계장 제어설비, 화학제어설비, 방위시설, 첨단 컴퓨터 응용기술이 요구하는 고신뢰성의 안정된 전원을 확보하기 위하여 무정전전원장치를 필요로 한다.

일산복합화력의 경우 발전에 필요한 중요설비에 전원을 공급하기 위하여 무정전전원장치를 1995년에 설치하여 운용해 오고 있다. 하지만 안정적 전원공급이 요구되는 중요설비에 전압 왜형률이 IEEE 기준치(고

조파 성분 3%, 종합왜형률 5%)를 초과하여 이의 설비를 개선하고자 동조필터의 설계를 고려하게 되었다. 한전의 전기공급규정시행세칙 제31조를 참조하면 한전의 고조파 허용 기준치는 66KV이하에서 전압왜형률 3%, 154KV 이상에서 전압왜형률 1.5%를 넘지 않도록 규정하고 있다. 현재 전류왜형률에 대한 규제를 검토하고 있으며, 올해안에 전기공급규정에 포함될 것으로 예상하고 있다.

일산복합화력 무정전전원장치

그림 1의 일산복합화력 무정전전원장치는 rectifier, battery, inverter, static switch로 구성되어 있는 일반적인 형태의 무정전전원장치이다.

rectifier는 6상 병렬 SCR bridge방식의 정류회로로 구성되어 상용 교류전력을 inverter에서 필요한 직류전력으로 변환한다. inverter는 SCR을 이용하여 직류전압을 교류전압으로 변환시킨다. 인버터의 출력전압은 방형파이기 때문에 교류필터를 사용하여 정현파로 변환시킨다. battery는 상용전원 고장시 인버터에 직류전원을 공급하는 설비이다. static switch는 UPS·설비 이상으로 인버터 전원에서 by-pass 전원으로 절체될 때 부하에 중단되지 않도록 고속절체하는 스위치이다. 일산복합화력의 무정전전원장치는 중소기업에서 제작 설치한 제품으로서 최초 설치시 필터가 있었지만 부하의 특성이 고려되지 않고 기본사양으로서 납품되었기 때문에 실제 필터를 투입하지 않고 운전되어 왔다. 필터는 3차, 5차, 7차의 필터가 설치되어 있는데 각각의 커패시터의 용량은 600 μ F이고, 리액터는 각각 1.3, 0.47, 0.24mH이다. 그리고 커패시터는 델타로 연결되어 있으며 리액터는 각각 5개의 탭이 있어 값을 변경할 수 있게 되어 있다. 표 1은 일산 무정전전원장치의 사양이다.

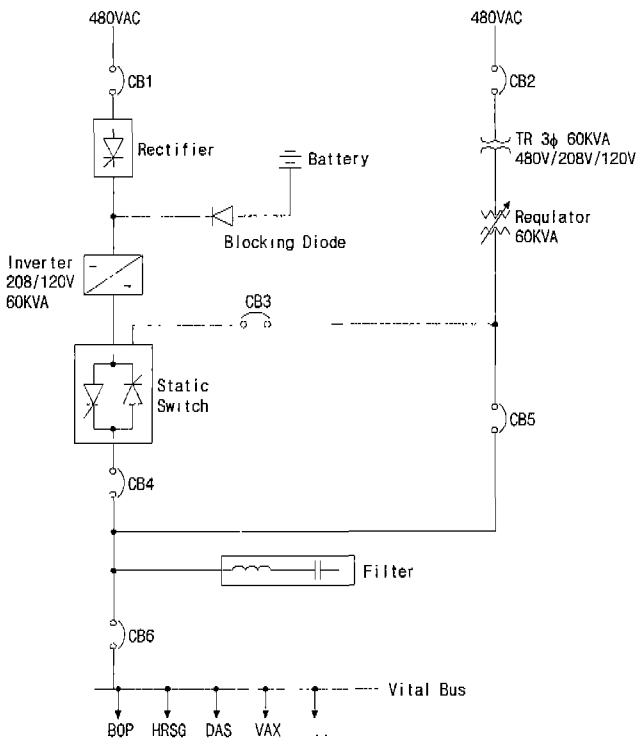


표 1. 일산복합화력 무정전전원장치의 사양

	by-pass
정격전압	3상4선 208/120 VAC
전압조정범위	±5%
전압안정도	±2%이내(선형 및 평형부하시)
정격주파수	60Hz ± 0.5%
중합파형왜율	5% 이내(선형 및 평형부하시)
부하역률	0.8 lag
인버터 효율	88% 이상
동기절체 시간	1/4 Hz 이내

그림 2와 그림 3은 각각 by-pass와 무정전전원장치 운전시의 출력전압과 전류의 파형이다. 부하가 정류부하임을 알수가 있다. 그림 4는 기존 설치되어 있던 3차의 고조파 필터 투입시의 출력전압과 전류의 파형이다. 그림 5는 3차 고조파 필터 투입시 필터 전단의 전류파형이다. 3차 필터의 전류는 측정하지 못했지만 그림 4와 그림 5를 비교하여 분석하면 대략적으로 3차와 5차의 고조파 전류를 필터에서 보상하고 있음을 알수 있다.

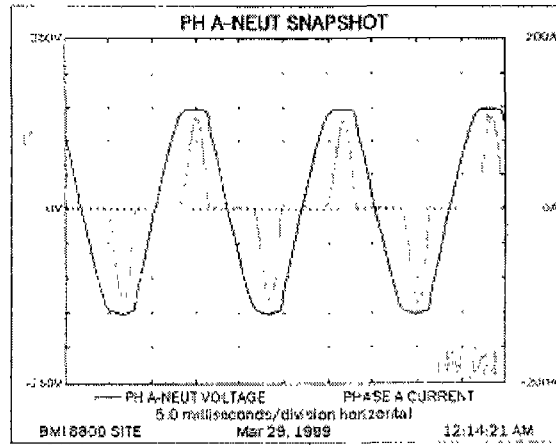


그림 2. by-pass 운전시 출력전압, 전류 파형

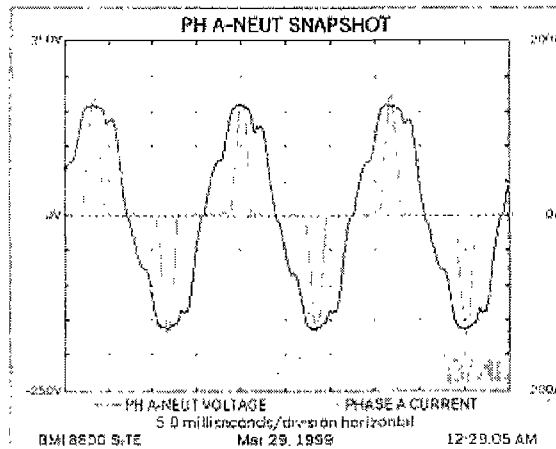


그림 3. UPS 운전시 출력전압, 전류파형

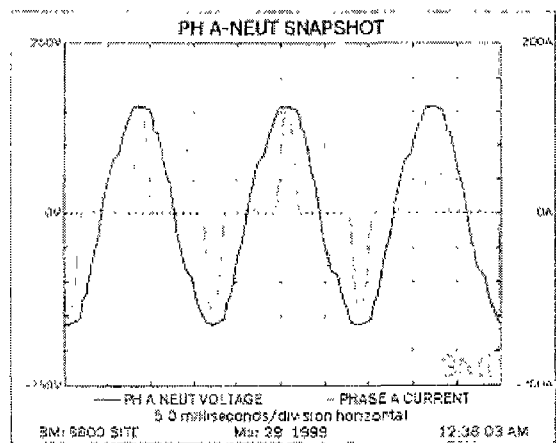


그림 4. 3rd 필터 투입시 출력전압, 전류파형

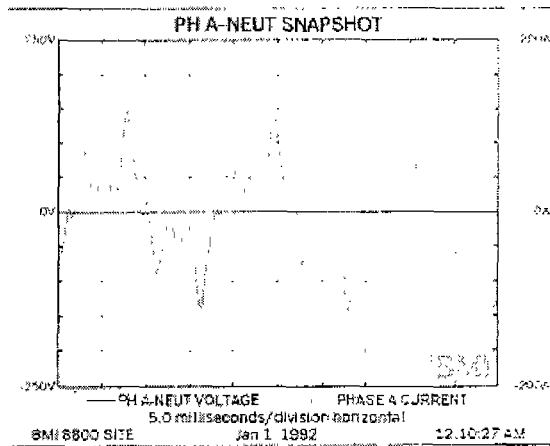


그림 5. 3rd 필터 전단 전류파형

표 2는 무정전전원장치의 운전자료이다. 그리고 일산복합의 경우 상시 무정전전원장치로 운전하며, 현재 설치되어 있는 필터를 3대 동시 투입하면 과부하로 트립되어 by-pass 운전된다. 이는 전압, 전류파형에서도 알 수 있지만, 표 2를 보면 displacement power factor가 1이고, power factor가 0.74인데서 기인한다. 즉 무정전전원장치는 정격역률을 넘어서는 부하운전에서는 그 용량이 감소하여 과부하가 되기 때문이다. 그리고 전압 종합 왜형률이 by-pass운전 시에는 5.7%이고, 무정전전원장치 운전의 경우 12.4%로서 IEEE규격을 넘어서고 있다. 따라서 출력 필터를 적절한 용량으로 설정하여 출력전압의 고조파를 적정치로 제한하여야 할 필요가 있다.

표 2. 무정전전원장치의 운전자료

종류	by-pass	UPS	3rd 필터	비고
V _{PH}	116.4	120.3	120.7	
I _A	43.9	47.8	45.0	
I _B	53.9	57.0	54.7	
I _C	43.5	48.3	43.2	
PF	0.74	0.68	0.71	
dPF	0.99	1.00	0.99	
Volt THD	5.7%	12.4%	9.4%	
Cur. THD	84.6%	105.2%	92.5%	

표 3. A상 출력전압 고조파 분석 결과

A상	by-pass	UPS	3rd 필터	
3rd	3.5%	6.2%	5.3%	
5th	3.3%	7.0%	2.3%	
7th	0.9%	2.1%	2.9%	
9th	0.8%	4.8%	0.7%	

표 4. A상 출력전류 고조파 분석 결과

A상	by-pass	UPS	3rd 필터	필터전단
3rd	76.8%	86.3%	84.2%	63.7%
5th	44.4%	63.3%	59.2%	16.0%
7th	16.1%	39.2%	32.6%	42.3%
9th	5.2%	19.4%	10.7%	7.8%

무정전전원장치의 동조필터 설계

일반적으로 무정전전원장치는 출력전압의 정현화를 위해 출력측에 출력필터가 설치되어 있다. 그리고 최근의 컴퓨터 시스템에서는 정류기 부하가 접하는 비율이 증가하여 3상 정류기 부하에서는 부하역률이 0.9를 초과하는 것도 있다. 무정전전원장치의 부하 역률 범위는 0.7 ~ 0.9를 상정하는 것이 많고, 부하 역률이 무정전전원장치의 정격역률을 초과하는 경우에는 무정전전원장치의 출력을 저감시킬 필요가 있다. 일산복합 무정전전원장치의 제어전원부하는 3, 5, 7차의 고조파를 많이 포함하고 있으므로 이들에 대해서 동조필터를 설계하면 된다. 이들 필터의 기본개념은 L과 C를 동조시켜 각각의 고조파에 대한 전원측의 임피던스를 이론적으로 영으로 하여 고조파 전류에 의한 출력전압의 왜형률을 최소화시키는 것이다. 따라서 필터설계는 X_C가 정해지면 해당 고조파에 대해 다음과 같이 X_L이 결정된다.

$$X_L = X_C / n^2$$

일반적으로 X_C의 결정은 기본파 부하전류에 대한 역률개선을 겸하고 있는데 무정전전원장치는 정격역률이 있으므로 부하역률이 정격역률로까지 개선되는 Q 용량을 선정한다. 일반적으로 고조파가 포함되지 않는 부하라면 역률이 cosφ 가 되지만 콘덴서 입력형 정류기 같은 고조파가 포함되어 있는 부하의 경우에는 역률(PF)은 다음과 같다.

$$\text{Power factor} = \text{dPF} \times \text{DF}$$

dPF : Displacement factor

DF : Distortion factor

위의 식에서 알 수 있듯이 역률은 dPF와 DF를 개선하므로써 가능해진다. dPF는 전압과 전류 기본파

와의 위상차이기 때문에 콘덴서로 위상 보상하면 되고, DF는 필터를 사용하여 고조파를 제거하면 된다. 하지만 동조필터에는 리액터와 콘덴서가 사용되므로 기본파에 대한 위상 보상과 필터의 역할을 동시에 수행하게 된다. 따라서 고조파가 포함되어 있는 부하의 무효전력 보상은 PF가 아닌 dPF를 개선하게 되고 또한 고조파를 제거하므로써 PF를 개선하게 된다. 따라서 보상해야 할 무효전력이 Q[VAR]이고, 필터가 각각 3, 5, 7차에 대해 존재한다면 전체 Q는 다음과 같다. 각 고조파 필터가 담당하는 무효전력은 고조파 전류의 비율에 따라 결정하게 된다.

$$Q = Q_3 + Q_5 + Q_7$$

그리고 각 고조파에 해당하는 X_c 와 X_L 은 다음과 같다.

$$X_{c3} \approx V^2 / Q_3, X_{L3} = X_{c3} / 9 = 0.11X_{c3}$$

$$X_{c5} \approx V^2 / Q_5, X_{L5} = X_{c5} / 25 = 0.04X_{c5}$$

$$X_{c7} \approx V^2 / Q_7, X_{L7} = X_{c7} / 49 = 0.02X_{c7}$$

하지만 일산복합의 무정전전원장치는 PF가 0.68이고 dPF가 1.0이므로 보상해야할 무효전력은 전혀 없고 오히려 표 1의 정격역률(정확하게 여기서는 dPF) 0.8을 넘어서므로 무정전전원장치의 용량이 작아지는 결과가 되었다. 따라서 동조필터를 사용하므로써 인버터 출력단의 고조파저감을 피하기 보다는, 인버터 출력단 전압을 순시적으로 제어함으로써 동일한 목적을 얻어야 하지만 인버터 스위칭소자가 싸이리스티아므로 전압의 순시제어가 불가능하다. 따라서 고조파를 제거하기 위해서는 부득이 동조필터를 사용할 수밖에 없는데 이 경우 인버터의 출력전류와 전압은 개선이 되지만 커패시터를 사용하므로 해서 인버터가 무효전류를 추가로 공급해야 하기 때문에 인버터가 정격을 초과할 수 있다. 따라서 무정전전원장치의 출력을 저감시킬 필요가 있어 결국 무정전전원장치의 정격출력이 감소되는 점을 감수해야 한다. 따라서 일산복합의 경우에는 가능한 한 C를 작게하여 dPF의 변화를 최소로 하여 필터를 설계하거나 아니면 중요 펌프 구동용 전동기 등의 지상부하 연결한 후 필터 설계하여 dPF가 0.8이 되도록 하는 것이 바람직하다. 부하의 최소한의 무효전력 변동으로 고조파를 저감하려면 C의 값을 최소로 하여 공진필터를 설계해야 한다. 따라서 일산복합화력의 경우 각 고조파 전류(In)만을 담당할 수 있는 필터를 설치하면 된다.

$$I_n = V / X_c = \omega CV$$

하지만 각 고조파 필터에 해당하는 무효전력을 필터에서 공급하게 되므로 무정전전원공급장치가 정격출력으로 운전되고 있다면 인버터가 과부하로 운전되므로 출력을 감소하여 운전해야 한다.

결론

일산복합화력의 무정전전원장치는 그 용량이 60KVA이고, 현재의 부하가 대략 20KVA정도이므로 출력용량에 충분한 여유가 있으므로 필터 설계에 있어서 고조파 전류만을 제거하도록 설치하여도 인버터에 과부하 요인이 되지 않는다. 하지만 지상부하의 중요설비를 무정전전원장치로 전원을 공급하여 부하도 개선하고 설비의 신뢰도도 높은 후에 필터를 설계하므로써 무정전전원장치의 이용율과 효율을 높여 향후 부하의 증가에 대비하는 것도 고려하여 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] IEEE Std 519-1981/1992
- [2] B. K. Bose, "POWER ELECTRONICS AND AC DRIVES", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- [3] ANSI/IEEE Std 944-1986
- [4] 전력계통의 고조파 장애 분석, 한국전력안전공사, 1994. 12
- [5] J.A. Bonner, W.M. Hurst, R.F. Dudley, "Selecting Ratings For Capacitors And Reactors In Applications Involving Multiple Single-Tuned Filters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, Jan. 1995