

보호계전기 오동작 방지를 위한 클램프형 Ferrite Filter 연구개발 및 적용사례

이명희, 이봉희, 김인곤
KEPCO Academy

Development and application of tamper-proof clamp-type ferrite filter for protective relays.

Myeong-hee Lee, Bong-hee Lee, In-gon Kim
KEPCO Academy

Abstract - 전기, 전자분야에 반도체가 폭넓게 사용됨에 따라 발·변전소에서 Noise에 의한 보호계전기 오동작 사례가 늘어나고 있어, 이것을 효과적으로 차단하고 설비의 오동작을 예방할 수 있는 필터개발이 필요하였다.

현재 시중에서 사용하고 있는 Ferrite Filter는 일반 가전 및 OA를 대상으로 개발하였기 때문에 송변전계통의 변전소에서 발생하는 Noise와 차단 영역이 다르다. 따라서 송변전설비 보호계전기의 오동작원인을 분석하고, 변전소에서 발생하는 Noise의 형태를 측정하여 그것을 차단하기에 적합한 Clamp형의 Ferrite Filter를 개발하였다.

Ferrite Filter는 재질에 따라 고주파 차단 영역이 결정된다. 일반적인 전자설비에 사용하는 니켈계(Ni-Zn) 재질의 Filter는 수MHz~수GHz 영역이며, 변전소에 주로 발생하는 고주파 수KHz~수MHz 영역은 망간계(Mn-Zn) 재질을 혼합하여 만들었다. 개발한 Filter의 성능 확인을 위해 공인시험기관인 KERI(한국전기연구원)에서 다양한 형태로 고주파 차단 특성 시험을 시행한 결과, 망간계와 니켈계 Ferrite Filter를 적절로 설치함으로써 Noise를 효과적으로 차단함을 확인 하였고 5개소에 2개월간 시범적용을 통하여 그 성능을 검증하였다.

본 연구결과는 Clamp형 Ferrite Filter의 기술적 한계로 여겨졌던 고주파 차단특성을 발변전소 등의 전력설비에서 발생하는 대역까지 확대하였으며, 경제적으로도 기존의 L-C Filter 대비 약 4%의 비용으로 설치할 수 있어 그 비용을 획기적으로 절감하였고, 설비의 정지 없이 언제든 간편하게 설치할 수 있어 현장에서 적용하기에 매우 유용하다. 그 성능을 지속적으로 향상시켜 많은 분야에서 활용할 수 있도록 추가적인 연구개발이 필요할 것으로 판단된다.

1. 서 론

최근 전기, 전자분야의 반도체가 폭넓게 활용 되됨에 따라, Noise에 의한 피해가 급속도로 확산되고 있어 이를 효과적으로 차단, 예방할 수 있는 Filter개발 필요성이 급증하고 있다. 특히 전력설비 보호계전기가 최근 정지형 및 디지털 형으로 교체되고 있으나 Noise에 대한 저항력의 부족으로 오동작 사례가 다수 발생하였다.

또한 현재 전력설비 관련 보호장치의 Noise 제거용으로 사용하고 있는 L-C Filter는 전원 및 입력회로에 직렬로 연결하여야 하므로 전력설비를 정지해야만 Filter를 설치 할 수 있다. 이것은 설비의 휴전을 수반하게 되며, Filter 설치 지연의 원인이 된다.

이에 따라 전력설비에서 발생하는 Noise 및 Surge를 효과적으로 차단할 수 있고, 필요시 현장 설치가 매우 간단한 Ferrite Filter 개발이 필요하다. 현재 일반 시중에서 사용하고 있는 Ferrite Filter는 그 적용영역이 OA 기기이며, 발변전소의 전력설비에서 발생하는 Noise와 그 적용영역이 다르다.

본 논문에서는 전력설비에서 발생하는 Noise 대역을 측정하고 그 Noise 대역에 맞는 Ferrite Filter 개발 내역과 현장적용 사례를 소개하고자 한다.

2. 보호계전기 오동작 사례 분석 Noise 측정

2.1 보호계전기 오동작 사례

아래의 표는 2009년도 4월부터 7월까지 짧은 기간 동안 Noise에 의해 보호계전기가 오동작한 사례이다.

<표 1> Noise에 의한 보호계전기 오동작 사례

일 시	계전기 오동작 현상	계전기 Type	오동작 원인
2009.4.29(수)	설비고장 없이 계전기 동작	정지형	축적 Noise 방전
2009.5. 6(수)	설비고장 없이 계전기 동작	정지형	축적 Noise 방전
2009.7.11(토)	계전기 CPU카드의 DC모듈 고장 및 Trip 출력	정지형	Surge 유입에 의한 Trip

오동작한 계전기 Type은 모두 정지형 계전기이며, 정지형 계전기는 Noise나 Surge에 취약한 것으로 판단되어 현재 KEPCO에서는 디지털로 교체하고 있다. 그러나 디지털 계전기도 Noise나 Surge에 의해 내부 부품고장이 다수 발생하고 있으며, 원천적으로 Noise 및 Surge 유입 경로를 차단할 필요가 있다.

2.2 변전소의 Noise 및 Surge 측정

상기 보호계전기가 오동작 한 장소를 포함하여 전국 4개 변전소에서 충전기 운전중, 변압기 및 차단기 투입/개방시, ULTC Tap 변환시 등 변전소에서 Noise 및 Surge가 발생할 수 있는 경우를 모의하여 각 설비의 입력 단자에서 발생 전압의 크기 및 Noise의 주파수 대역을 측정하였다.

<표 2> 변전소 설비별 Noise 발생 전압 및 주파수 대역

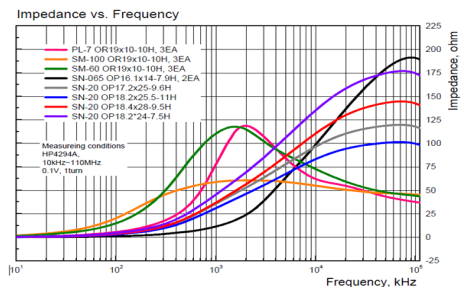
설비 구분	Noise 및 Surge 크기	
	전 압	발생주파수
충전기(균등/부등)	4V ~ 22V	수 kHz ~ 1,560 MHz
ULTC(상승/하강)	6V ~ 26V	1 kHz ~ 8 MHz
GIS CB(투입/개방)	3V ~ 950V	20 kHz ~ 10.5 MHz
MCSG CB(투입/개방)	42V 내외	1.5 MHz ~ 16.7 MHz

변전소 설비 중 충전기에서 가장 높은 주파수 대역의 Noise가 발생하고 있으며, 발생전압은 25.8kV GIS 차단기 조작시 950V로 가장 높은 Surge 전압이 발생하는 것으로 측정 되었다. 하지만 실제로는 낙뢰시 유입되는 Surge가 가장 높을 것으로 예상이 되며, 향후 실측을 위해 준비 중이다. 위와 같은 결과에 따라 개발되는 Ferrite Filter는 변전소 발생 Noise 및 Surge 영역을 포함하여야 하며, 차단하는 전압도 950V 이상 이어야 한다.

3. Clamp Type Ferrite Filter 개발

3.1 Ferrite Filter의 주파수 대역 선정

Ferrite Filter의 주파수 대역은 혼합하는 재질의 함유량에 따라 형성된다. 현재 주로 사용하는 Ferrite Filter는 OA 및 PC 입력회로에 주로 사용하고 있으며 그 주파수 대역이 매우 높다. 아래 그림은 현재 시장에 나와 있는 Ferrite filter의 주파수 대역별 임피던스 특성을 나타내는 그래프이다.



<그림 1> Ferrite Filter 임피던스 특성

대부분 1MHz부터 수십GHz 범위에서 임피던스특성이 높으며, 변전소에서 측정된 수kHz 이하에서는 임피던스가 거의 제로에 가깝다. 이 영역에서 높은 임피던스 특성을 갖는 Ferrite Filter를 개발해야 한다.

Ferrite Filter의 재질은 크게 니켈계와 망간계로 구분할 수 있다. 이것은 Fe₂O₃를 기본으로 Ni-Zn(니켈계)을 혼합하느냐, 아니면 Mn-Zn(망간계)을 혼합 하느냐에 따라 주파수 대역별 임피던스 특성이 결정되며 Filter 표면의 임피던스 특성 조절을 위해 SiO₂, CaO 등을 적정량 혼합한다. 변전소에서 발생하는 Noise 영역의 Filter를 제작하기 위해서는 Mn-Zn(망간계)의 필터가 필요하나, 일반 전자설비에서 발생하는 고주파 영역에서는 그 임피던스 특성이 약하므로 이것도 고려해야 한다.

3.2 Ferrite Filter 설계

Ferrite Filter 내경은 전선의 굵기를 고려하여 3회의 권선이 가능하도록 설계하였다. Filter 설치시 전선에 여유장이 있을 경우는 2회 또는 3회를 감을 수 있도록 하여 Noise 및 Surge 차단효과를 높일 수 있다.

Clamp형의 경우 현장 설치가 용이하도록 2분할로 제작하였으며, 분할에 따른 접속부의 공극을 최소화하기 위해 단단히 고정할 수 있는 고정 Cover를 제작하였다.



〈그림 2〉 Filter 설계도 및 임피던스 특성도

3.3 시료제작 및 검증시험

변전소에서 발생하는 Noise는 낮은 주파수 영역(수kHz ~ 수MHz) 범위로서 망간계의 Ferrite Filter로 그 역할을 할 수 있지만 일반적인 전자설비에서 발생하는 고주파 영역(수MHz ~ 수GHz)도 함께 방지하기 위해 두 종류의 Ferrite Filter 시료를 제작하였다.

제작된 시료에 대한 검증시험은 한국전기연구원(KERI)에서 시행하였다. Test 시료 9개를 제작하여 기존 보호계전기의 오동작 영역에 대한 EFT Burst 시험을 반복하였으며, 여러 조합 중에 최적의 조합을 찾아내었다.

〈표 3〉 성능확인 인가시험 조건

구분	IEC61000-4-4	금회시험	비교
전압상승시간	5 ns	5 ns	
50%과크류지시간	50 ns	50 ns	
BUST 유지시간	15ms	100ms	6.7배
BUST 주기	300ms	300ms	
인가전압	4.0kV	4, 5, 6, 7, 8.0kV	1~2배
반복 주파수	5kHz or 100kHz	100,200,300,400,500kHz	2~5배
인가 및 휴지시간	1분인가 1분휴식	5분인가 10s 휴식	5~6배

〈표 4〉 최적 조합후 EFT Burst 시험결과

구분	Clamp 형 Ferrite Filter (2 Turn)				
	100 kHz	200 kHz	300 kHz	400 kHz	500 kHz
5 kV	OK	OK	OK	OK	OK
6 kV	OK	OK	OK	OK	OK
7 kV	OK	OK	OK	OK	OK
8 kV	OK	OK	OK	OK	OK

시험결과를 보면, 금회 개발한 Clamp 형 Ferrite Filter는 현행 국제기술기준인 IEC60255-22-4와 IEC61000-4-4의 Burst 시험조건보다 훨씬 강화된 시험조건에서 아주 우수한 물리적 특성을 보여주고 있다.

그리고 최적 조합 시험결과 망간계 Ferrite Filter의 표면 임피던스가 낮으므로 Filter에 입력회로를 1회 통과시키는 것보다 2회 통과 시키는 것이 Noise 방지에 더 효과적임을 찾아내었다.



〈그림 3〉 성능검증을 위한 Filter 설치사진

3.4 현장 시범적용

전국 3개 변전소의 5개소에서 시범적용을 시행하였다. 기간은 '10.5.28일부터 '10.7.27일까지 2개월간 시범적용하고 전·후의 보호계전기 특성 시험을 시행하여 확인 해 보았으나 계전기 오동작 사항은 없었다.

〈표 5〉 설치장소 및 시범적용 결과

변전소명	설비명	설비제원	수량	계전기	결과
345kV 중부	#61 M.Tr 51P	PNL 현대, '97	6	'99.8	양호
	#62 M.Tr 51S	PNL 현대, '01	6	'01.5	양호
	23kV 합철#2D/L	GIS 효성 '00.4	6	'00.1	양호
154kV 마포	23kV 백마D/L	GIS LS '01	6	'01.1	양호
154kV 한남	23kV 관하D/L	GIS 현대 '02	6	'01.4	양호

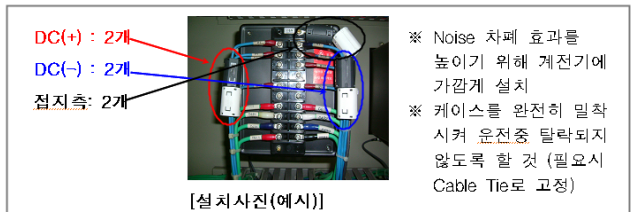
3.5 확대적용

개발한 Ferrite Filter는 설치 수량을 고려하여 기설 보호계전기 중 정지형 보호계전기가 가장 많이 설치되고 고객의 정전과 직결된 변압기 및 배전선로 보호계전기 4,975개소에 적용하였다.

〈표 6〉 정지형 보호계전기 설치 현황

구분	M사	D사	K사	N사	합계[대]	
변압기 보호용	51P	597	135	31	-	763
	51S	511	150	40	-	701
배전선로 보호용		1,309	660	757	785	3,511
계 [대]		2,417	945	828	785	4,975

설치 방법은 고주파 영역 Filter(흑색) 1개와 저주파 영역(흰색) 1개를 직렬로 설치하여 변전소 자체의 Noise 뿐만 아니라 외부에서 유입되는 Noise까지 방지할 수 있도록 하였으며, 접지축을 통하여 유입되는 Surge 및 Noise를 방지하기 위하여 접지선에도 추가로 설치하였다.



〈그림 4〉 Filter 설치 예시

Clamp형 Filter는 반드시 흑색과 백색이 1조를 이루어야 효과가 있으며 가능한 피보호 대상설비(계전기 등)에 가까이 설치하여야 하고 배선에 여유가 있을 경우는 2회를 감아서 설치하도록 하였다. 여유장이 없을 경우는 1회 통과하도록 임시 설치 후 설비 휴전시 입력회로의 여장을 조정하여 1회 더 감아 2회가 통과되도록 하였다.

4. 결 론

기술적인 부분에서 본 연구 결과는 Clamp형 Ferrite Filter의 한계로 여겨졌던 광대역 고주파 차단 특성을 개선하여 변전소에 적용할 수 있는 Filter를 개발하였으며, 디지털 및 정지형 계전기 제작사의 기술력 부족에 대한 예방대책으로 활용할 수 있었다.

경제적인 측면에서도, 기존의 L-C Filter는 그 크기도 클 뿐만 아니라 설치 자체비용도 약 1만원이상 소요되고 변압기 또는 해당 설비를 휴전하여야만 설치할 수 있었으나, 신규 개발한 Clamp 형의 Ferrite Filter는 가격이 750원 정도이며(아직 시장가격은 없음) 설비 정지 없이 설치할 수 있어, 필요시 즉시 설치할 수 있는 장점이 있다. 실제 설치 비용을 계산해 보면, L-C Filter의 경우 변압기 보호반 1면당 ₩172,018원이 소요되는 반면 Clamp형 Ferrite Filter 설치시 ₩6,461원으로 약4%의 비용으로 설치할 수 있다.

또한 보호계전기 오동작 방지를 위한 대책으로 휴전 없이 즉시 시행할 수 있는 장점과 작업 중 인적실수 예방효과가 있으며, 업무량 축소에 따른 효율성 향상 등 많은 무형의 이득을 제공하고 있다.

다만 유입되는 Surge 전압이 커졌을 경우(약 8kV 초과시)는 아직 입증된 것이 없으므로 이 부분에 대한 추가적인 연구와 개발을 통하여 Ferrite Filter의 성능을 향상시킬 필요성이 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] KEPCO 중부전력소, "정지형 보호계전기 내환경 특성 보장용 Clamp 형 Filter 개발", 현장기술개발 최종 보고서, 2010.7
- [2] 이명희, "현장기술개발 완료과제 확대사용방안 알림", KEPCO 내부 보고서, 2010.9
- [3] IEC61000-4-4 "Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test, 2004.7