

000 수전설비 고조파 전류에 의한 OCGR 동작

- 진단일시 : 6월
- 진단수행자 : 협회 전문위원(안희석, 강성태), 기술연구팀 배영탁 주임
- 문의 : ☎ 02)875-6524

1. 서론

최근 정보산업의 발전과 더불어 각종 산업기기의 보급이 날로 늘어 나고 있고 이러한 발전과 비례하여 전력기기 부분의 고조파 장애가 날로 심해지는 상황이다. 과거 전동기와 백열전구가 전력 부하의 대종을 이루었을 때는 이러한 고조파는 그 함유량도 크지 않았을 뿐 아니라 그 영향도 심각하지 않았지만 지금의 고조파는 각종 전력 전자기기에서 발생되어 그 함유량도 매우 크고 각종기기에 미치는 영향도 심각하여 이제 모든 전력설비는 시설 전에 고조파의 영향을 충분히 감안하지 않으면 안되는 상황이다. 고조파를 발생하는 부하에 대해 그 영향을 최소화 하기 위해 다각적이고 충분한 대책을 세워야 한다. 또한 지락계전기의 동작을 고조파의 원인으로 잘못 해석하기도 하여 필요 이상의 경비가 지출될 수도 있다.

고조파에 의해 지락계전기가 오동작을 일으킬 수 있는 가능성은 매우 적으며 일반적으로 잘못 시설된 지락계전기의 회로에 중성선 전류확대현상이 발생될 경우 이를 감지한 지락계전기에 의해 차단기가 동작되는 경우도 있다. 물론 고조파를 제어하면 중성선의 전류도 줄어 지락계전기의 오동작 회수도 줄어 들게 되겠지만 이런 경우 지락계전기는 정작 지락 발생에 대해 동작되지 않는 잘못된 설계를 유지하는 것임을 주지해야 할 일이다.

000설비의 전산용 전용부하의 용도로 사용되는 전원회로의 고조파를 측정 검토하여 당설비의 고조파 대책을 분석하여 본다.

2. 주요 문제점 발생상황

- 가) 지락계전기의 오동작
- 나) 중성선 전류 확대현상
- 다) 콘덴서 과전류 및 과열발생
- 라) 저압 Feeder의 동상 다중포설로 동상전류 불평형

3. 계전기 동작에 관한 검토

가) 현황

- ① 변압기의 용량 : 600kVA
- ② 전압 : 22.9kV/380-220V 3상
- ③ CT : 1200/5A (240배)
- ④ 계전기종류 : OCR 3개, OCGR 1개×3 SET

나) 동작상황

- ① 지락계전기는 0.7A(한시)Tap에 설정되어 있었음
- ② 최대부하로 예상되는 9:00~12:00시경에 지락계전기에 의한 오동작이 자주 발생됨
- ③ 이로 인하여 지락계전기의 설정 Tap을 1.5로 재조정함



다) 분석결과

- ① 당 시설은 3상4선식 공급방식으로서 전 원회로 지락보호를 위하여는 4CT 또는 ZCT를 사용하는 방식에 의해 지락보호를 하여야 함에도 불구하고 지락검출용 CT를 시설하지 않고 상전류 검출용 CT를 이용하여 잔류 전류 측정법을 사용하고 있는데 이것은 중성선을 사용하지 않는 공급방식에 적용되는 지락보호 대책으로서 당 건물 의 전력 공급 방식에는 적용될 수 없는 지 락 보호 방법이다.
- ② 처음 오동작 시점의 OCGR 동작전류는 0.6~0.7A에 설정되었으므로 여기에 CT비 율을 감안하면 $0.7 \times 240 = 168A$ 의 조건 에 동작되도록 되어있다.
- ③ 현상태의 결선 조건에서는 이와 같이 중 성선 전류에 동작되고 있어 그 설정탭과 동작전류는 다음과 같다.

| OCGR ADJ TAP | 동작시 중성선 전류 | 비 고 |
|--------------|------------|--------|
| 0.1 | 24 | |
| 0.2 | 48 | |
| 0.3 | 72 | |
| 0.4 | 96 | |
| 0.5 | 120 | |
| 0.6 | 144 | |
| 0.7 | 168 | 과거 설정값 |
| 0.8 | 192 | |
| 0.9 | 216 | |
| 1.0 | 240 | |
| 1.1 | 264 | |
| 1.2 | 288 | |
| 1.3 | 312 | |
| 1.4 | 336 | |
| 1.5 | 360 | 정정 값 |

즉, 누설전류와는 아무 관련 없이 중성선 전류의 증가분(단상전류의 불평형분)으로 동작의 조건이 되고 있다. 탭을 1.5로 변경 후 OCGR이 동작되지 않는 이유는 이러한 이유이며 다만 중성선 전류가 (중성선 전 류 확대현상을 포함) 360A의 점에서 동작 되도록 조정된 상태이기 때문이다.

④ 지락과전류 차단기의 정정

지락 과전류 차단기는 특고, 고압의 모 선측에서 전력기거나 선로의 보호목적으 로 사용되는 것이 일반적이다. 특히 지락 전류의 제어에 OCGR은 효과적인 보호장 치로서 사용되고 있다. 그러나 저압의 경 우 임피던스 정수가 명확하지 않아 콘덴서 보호목적 이외의 경우에 대하여 난이성이 높고 계산과 실제의 괴리가 커서 그 이론 이 정립되어있지 않은 것이 현실이다.

따라서 현행 전기설비기술기준의 누설전 류의 제한목적으로 설정하여 사용하는 것 이 타당하다고 하겠다.

누설전류를 제한할 경우 : 누설전류는 정격 전류의 1/2000로 규정되고 있으며 이를 기준 하여 지락 계전기를 설정하면 다음과 같다.

$$\text{허용누설전류} = \text{약 } 1000/2000 = 0.5 \text{ A}$$

따라서 정상적인 ZCT방식(또는 4CT방 식)을 도입하고 지락계전기의 정정 탭은 0.4~0.5Tap에 설정하여 사용하도록 한다.

- ZCT의 전류 강도 계산(단 약식 계산임 : 변 압기 정격 2차전류 960A기준)

$$\begin{aligned} \text{지락의 단락용량 } P_s &= (P_n/3) \times (100/\%Z) \\ &= 200 \times 100/5 = 4000\text{kVA} \end{aligned}$$

편이상 다중화되고 분기회로수가 많아 현실적으로 지락점의 임피던스를 모델하 기 어려우므로 통상 간이법에 의하고 최말 단의 지락을 보호할 목적으로 선로의 %임 피던스를 10%로하여 계산하면, 변압기임 피던스+선로임피던스=5%+10%=15%

$$\begin{aligned} \text{지락전류} &= 100 \times I_n / \%Z \\ &= 100 \times 960 / 15 = 6400\text{A (MAX)} \end{aligned}$$

따라서 ZCT의 규격은 구입하려 하는 ZCT의 전류강도×정격전류의 값이 6400 A인 제품을 사용한다.

[예] 전류강도가 5배인 제품인 경우 정 격전류는 1280A급의 제품(ZCT는 변환비 가 없으므로 규격 이상의 제품이면 어떤 정격도 관계없음)

4. 고조파 측정관련

가) 고조파 측정결과 및 함유율 분석

(1) ACB 2차

| 고조파 차수 | R | | S | | T | |
|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1.00 | 151.07 | 100.00% | 149.99 | 100.00% | 162.36 | 100.00% |
| 2.00 | 2.43 | 1.61% | 3.90 | 2.60% | 1.16 | 0.71% |
| 3.00 | 12.43 | 8.23% | 9.21 | 6.14% | 3.47 | 2.14% |
| 4.00 | 2.52 | 1.67% | 3.97 | 2.65% | 0.98 | 0.60% |
| 5.00 | 85.14 | 56.36% | 79.41 | 52.94% | 83.41 | 51.37% |
| 6.00 | 1.93 | 1.28% | 7.57 | 5.05% | 0.39 | 0.24% |
| 7.00 | 32.73 | 21.67% | 38.86 | 25.91% | 36.03 | 22.19% |
| 8.00 | 1.27 | 0.84% | 2.06 | 1.37% | 0.32 | 0.20% |
| 9.00 | 3.21 | 2.12% | 2.37 | 1.58% | 0.11 | 0.07% |
| 10.00 | 0.94 | 0.62% | 0.25 | 0.17% | 0.31 | 0.19% |
| 11.00 | 12.64 | 8.37% | 10.06 | 6.71% | 12.22 | 7.53% |
| 12.00 | 0.74 | 0.49% | 3.12 | 2.08% | 0.16 | 0.10% |
| 13.00 | 8.50 | 5.63% | 11.21 | 7.47% | 10.26 | 6.32% |
| 14.00 | 0.73 | 0.48% | 1.50 | 1.00% | 0.17 | 0.10% |
| 15.00 | 1.94 | 1.28% | 1.19 | 0.79% | 0.32 | 0.20% |
| 16.00 | 0.50 | 0.33% | 0.23 | 0.15% | 0.16 | 0.10% |
| 17.00 | 4.23 | 2.80% | 2.63 | 1.75% | 3.99 | 2.46% |
| 18.00 | 0.47 | 0.31% | 1.64 | 1.09% | 0.07 | 0.04% |
| 19.00 | 2.91 | 1.93% | 4.54 | 3.03% | 4.37 | 2.69% |
| 20.00 | 0.45 | 0.30% | 1.12 | 0.75% | 0.10 | 0.06% |
| 고조파실효값 | 93.63 | - | 90.94 | - | 92.52 | - |
| 왜 율 | 0.62 | - | 0.61 | - | 0.57 | - |

(2) UPS 2차

| 고조파 차수 | R | | S | | T | |
|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 1.00 | 66.77 | 100.00% | 77.29 | 100.00% | 88.91 | 100.00% |
| 2.00 | 1.32 | 1.98% | 8.14 | 10.53% | 4.38 | 4.93% |
| 3.00 | 39.44 | 59.07% | 49.57 | 64.14% | 58.86 | 66.20% |
| 4.00 | 0.48 | 0.72% | 7.29 | 9.43% | 4.56 | 5.13% |
| 5.00 | 27.30 | 40.89% | 34.62 | 44.79% | 36.97 | 41.58% |
| 6.00 | 0.34 | 0.51% | 5.59 | 7.23% | 4.34 | 4.88% |
| 7.00 | 12.34 | 18.48% | 16.68 | 21.58% | 16.49 | 18.55% |
| 8.00 | 0.58 | 0.87% | 3.33 | 4.31% | 3.67 | 4.13% |
| 9.00 | 4.49 | 6.72% | 6.61 | 8.55% | 5.48 | 6.16% |
| 10.00 | 0.95 | 1.42% | 1.96 | 2.54% | 2.58 | 2.90% |



| 고조파 차수 | R | | S | | T | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 11.00 | 5.02 | 7.52% | 5.59 | 7.23% | 6.00 | 6.75% |
| 12.00 | 1.20 | 1.80% | 1.13 | 1.46% | 1.64 | 1.84% |
| 13.00 | 4.13 | 6.19% | 3.44 | 4.45% | 3.75 | 4.22% |
| 14.00 | 0.62 | 0.93% | 0.24 | 0.31% | 1.26 | 1.42% |
| 15.00 | 1.64 | 2.46% | 2.09 | 2.70% | 1.10 | 1.24% |
| 16.00 | 0.07 | 0.10% | 1.33 | 1.72% | 1.97 | 2.22% |
| 17.00 | 0.57 | 0.85% | 2.19 | 2.83% | 2.01 | 2.26% |
| 18.00 | 0.21 | 0.31% | 0.44 | 0.57% | 1.18 | 1.33% |
| 19.00 | 0.32 | 0.48% | 2.09 | 2.70% | 1.66 | 1.87% |
| 20.00 | 0.13 | 0.19% | 0.10 | 0.13% | 0.30 | 0.34% |
| 고조파실효값 | 50.24 | - | 64.83 | - | 72.66 | - |
| 왜율 | 0.75 | - | 0.84 | - | 0.82 | - |

나) 고조파 측정결과 분석 종합

① 고조파 함유량에 대한 문제점

전류분의 고조파는 UPS와 이에 연결된 전산부하의 영향으로 많이 발생되고 있음이 확인되고 있으나 이에 따른 전압의 왜곡은 아직 미약하여 그 왜형율이 4.69%, 4.84%, 4.57%의 기록 성향을 나타내고 있다.

아직 국내의 경우 고조파 함유량의 가이드라인이 마련되고 있지 못하고 있는 형편이나 일본의 고압 배전 계통에서 허용하고 있는 기준인 5%를 전제로 할 때 적절한 수준으로 평가 될 수 있다.

이는 아직 전원측 임피던스 전압강하가 고조파 발생원의 고조파 발생 전류량보다 월등히 낮아 전압의 왜곡에 미치는 영향이 적은 것으로 판단되며 아울러 이 이상의 전력부하의 증가가 없다면 필터 등의 대책은 아직 시기상조임을 의미하는 것이다.

또한 고가의 필터 설치보다는 전원측 뱅크용량을 키우거나 100kVA의 UPS를 별도의 변압기로 수전하는 방법 등이 경제적이며 효과적일 수 있다.

② UPS 2차측 중성선 전류 증폭문제

300 kVA의 경우 중성선으로 300SQ 2중

회선을 사용하고 있으며 현 시설 상태를 기준 할 때에 최대 부하시 변압기측 중성선 전류가 250A로 관측되어 전선의 허용전류에 현저히 미치지 못하므로 안전에 대한 문제는 아직 발생되지 않을 것으로 판단된다. 전선의 굵기가 현저히 크므로 고조파에 따르는 전선의 임피던스 문제도 아직은 발생되지 않을 것으로 판단된다.

따라서 중성선 전류에 관한 대책으로 필터 등은 아직 시기상조로 판단된다.

다) 고조파에 따른 그 밖의 문제

① 약전류 전선의 영향

고조파 전류의 영향으로 인하여 간선 주변의 약전류 전선에 왜란을 발생시킬 개연성은 있을 것으로 판단되며 이에 따라 전력 간선을 신호계통의 전선과 병행해서 설치하는 행위 등은 엄격히 통제 되어야 한다.

② 누전차단기의 적용

누전차단기의 경우 고조파의 영향으로 오동작 사례가 빈번하므로 누전차단기 설치시 이점에 각별한 주의가 필요하다.

고조파 내량이 크고 충격과 부동작형의 누전차단기 선정이 필요하다.

③ 부하증가의 경우

진단 시점보다 부하의 현저한 증가가 일어날 경우에는 별도의 고조파 대책이 필요하며 경제적이고 효과적인 방안을 충분한 검토한 후에 선정하도록 한다.

라) 콘덴서의 고조파 대책

① 콘덴서 운영상태

- 제원 : 380V/30kVA, (Reactor : 5kVA- 6%)
- 전류 측정결과 : 정격전류 45.58A, 54/52/52

| 상 별 | R | S | T | 평균 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 정격전류(A) | 45.28 | 45.28 | 45.28 | 45.28 |
| 측정전류(A) | 54 | 52 | 52 | 52.7 |
| 과전류율(%) | 119 | 115 | 115 | 116.3 |
| 비고 : 정격전류의 약 117%의 점에서 운전되어 과열증이다. | | | | |

② 콘덴서 고조파 유입점검

일반적으로 콘덴서의 경우 5고조파의 유입전류는 기본파에 대해 83%까지 허용되므로 이를 기준한 고조파 유입전류의 양은 양호한 것으로 판단됨

③ 리액터 고조파 전압점검

리액터의 경우 허용 고조파 전압이 5고조파에 대하여 3.5%이하인데 측정결과 평균 2.3%(MAX 3%)이므로 리액터의 소손의 우려는 적다고 판단된다.

● 전원측 전압기준

(리액터의 허용기준 3.5%이하)

| 상 별 | R | S | T | 평균 |
|-------|----|----|----|------|
| 제3고조파 | 0% | 1% | 0% | 0.3% |
| 제5고조파 | 1% | 3% | 3% | 2.3% |

④ 리액터 고조파 전류점검

리액터의 경우 고조파의 허용 전류가 5고조파에 대하여 35%이하이므로 현재 평

균27%(MAX 30%)의 전류유입에 대해 리액터의 소손의 우려는 적다고 판단된다.

● 콘덴서 전류기준 측정

(리액터의 허용 기준 35%이하)

| 상 별 | R | S | T | 평균 |
|-------|-----|-----|-----|-------|
| 제3고조파 | 26% | 29% | 27% | 27.3% |
| 제5고조파 | 30% | 21% | 30% | 27.0% |

⑤ 이러한 전반적 경향을 볼 때 전류 상승에 대한 문제의 요점은 고조파에 의한 콘덴서 단자전압의 상승이며 이는 콘덴서의 정격전압을 높은 것으로 대체하여 사용할 경우 대책이 가능할 것으로 판단된다.

현재 단자전압이 약 390V정도의 관측이 되고 있으므로 26kV(25kV)의 440V콘덴서의 선정이 적합할 것으로 판단됨

| 사용전압 | 대 체 품 |
|-------|---------|
| 380 V | 30 kVar |
| 440 V | 26 kVar |
| 480 V | 24 kVar |
| 560 V | 20 kVar |

* 사용전압이란 전원전압이 아니며 콘덴서의 명판에 따른 내압이 표기된 제품을 의미함

4. 기타사항

가) 전력간선의 2중 회선 사용

전력간선에 2중 간선을 사용할 경우 각각의 간선에 대해 분기되는 전류의 비율이 일정하지 않아 집중전류가 흐르는 간선의 열화와 화재가 발생하는 사고의 원인이 되는 경우가 많이 있다.

000 수전설비 건물의 경우 300SQ의 전선을 2중으로 포설 하여 사용하고 있고 각각의 회선에 대해 불평형 전류가 흐르고 있어 이것



이 사고로 진전될 가능성이 큰 상태이다.

경간이 긴 경우 선로의 회로 정수의 평형을 위해 연가와 같은 평형 포설이 대책이 필요하나 선로가 짧은 경우 전로의 상호 접촉저항을 평형 시키는 대책이 필요하다.

이러한 방안으로서 케이블 접속단에 “H”, 또는 “T”패드를 시설하는 것이 필요하다.

| 구 분 | R | S | T | N |
|-----------|------|------|------|-------|
| A회선 | 102 | 85 | 49 | 14 |
| B회선 | 54 | 110 | 103 | 179 |
| 불균형율(A/B) | 189% | 77% | 48% | 8% |
| 불균형율(B/A) | 53% | 129% | 210% | 1279% |

나) 누전차단기의 적용대책

UPS 2차측의 부하가 전산 부하이어서 전원 공급이 중단될 경우 미칠 경제적 피해가 큰 경우이므로 회로를 선별적으로 구분하여 누전에 대한 대책을 마련하여야 한다.

특히 서버에 공급되는 전로의 경우 누전차단 동작 후 복구에 따르는 피해가 매우 크므로 누전경보기를 사용하는 방안과 누전차단기 이후에 개별적으로 소형 UPS를 사용하는 방안을 검토하여야 한다.

5. 결론

OOO 전산용 전원설비의 고조파와 이에 관련한 설비의 진단결과 우려되는 바와는 달리 전반적으로 정상인 상태로 확인되고 있다.

고조파는 UPS 사용시 당연히 발생하는 것이며 그 부하로서 사용되는 컴퓨터와 같은 Swithing Reguretor 사용시에도 발생되고 있다.

다만 그 발생량이 전압의 왜곡을 심히 변조시키거나 다른 기기에 영향을 줄 때에 대책이 필요한 것이나 현재 사용되는 기기의 전반적인 상태는 Feeder와 콘덴서를 제외하고 정상적이다.

역률 개선용 콘덴서의 과열과 Feeder 의 동상 다중 포설된 복도체의 일부만 개선하면 사용에 무리가 없을 것으로 판단되고 있다.

따라서 이번 진단에 따른 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

- OCGR의 동작은 결선오류에 의한 오동작으로 계전기결선의 수정으로 개선될 수 있는 상황이다.
- 고조파의 발생량은 허용기준 이하로써 현 상태를 유지할 경우 사용에 무방하다.
- 중성선의 전류확대 현상도 현 전선의 굵기와 임피던스 강하를 고려 할 때 사용에 무리가 없는 상태이다.
- 콘덴서의 경우 본문의 내용에서 제시된 용량과 내압을 조정하여 과열을 개선할 수 있다.
- 저압 Feeder의 경우 본문의 내용과 같이 개선하여 평형전류가 흐르도록 한다.
- 중요장소의 경우 누전차단기는 누전경보기로 대체하며 그 외 장소의 누전차단기는 고조파 내성이 충분하고 충격파 부동작형을 사용한다. 