

변압기에 영향을 주는 일반적인 전력 품질 요인

응용 자료

상업용 건물에는 각종 콘센트에 전력을 공급하기 위해 흔히 델타-와이(delta-wye) 구성의 208/120V 변압기가 있습니다. 콘센트에 연결된 단상, 비선형 부하는 3배수 고조파를 생성하고 이 고조파는 중성 상태에서 점점 증가합니다. 이 중성점 전류가 변압기에 도달하면 델타 1차 권선에 영향을 미쳐 과열과 변압기 고장의 원인이 됩니다.

또 다른 변압기 문제는 철손과 동손에서 비롯됩니다. 변압기는 보통 60Hz 위상의 전류 부하에만 적합한 규격으로 제작됩니다. 주파수가 이보다 높은 고조파 전류는 와전류와 히스테리시스로 인한 동손 증가의 원인이 되고, 그 결과 같은 60Hz 전류에서 발생하는 것보다 더 많은 열을 발생시킵니다.

비선형 부하를 공급하는 변압기는 주기적으로 점검하여 허용 가능한 한계 내에서 작동하는지 확인해야

합니다. 변압기는 접지 시스템의 무결성에 매우 중요한 요소이기도 합니다.

요인

1. 변압기 부하(kVA)

kVA 측정부터 시작하여 변압기 부하가 평형 상태인지 확인합니다.

- 위상 1(Phase 1) 및 중성(Neutral)에서 전압 프로브를 연결하고 같은 위상에서 전류 프로브를 클램핑합니다. 위상 2와 3에 대해서도 반복합니다.
- 단상 전력 품질 분석기를 사용하여 각 위상의 kVA를 판독하고 세 위상의 kVA를 모두 합하여 총 변압기 kVA를 계산합니다.
- 또는 3상 전력 품질 분석기에 대해 4개의 모든 전류 클램프와 5개의 모든 시험 리드를 연결하여 각 위상에 대한 kVA와 총 kVA를 판독합니다.

- 실제 부하 kVA를 네임 플레이트에 표시된 정격 kVA와 비교하여 % 부하를 확인합니다.

평형 부하에 단상 분석기를 사용할 때는 한 번의 측정으로 충분합니다. 부하가 50% 미만인 변압기는 일반적으로 과열 위험이 없습니다. 하지만 부하가 증가함에 따라 주기적으로 측정해야 합니다. 어떤 지점에서는 변압기의 부하를 내려야 할 수 있습니다.

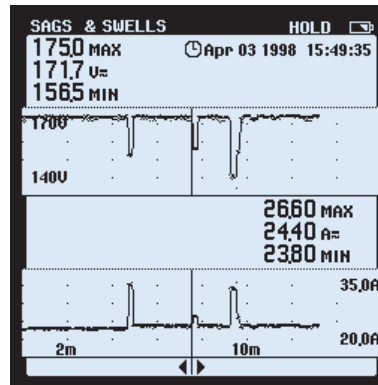


그림 2. 고조파 스펙트럼

2. 고조파 스펙트럼

2차(부하) 전류의 고조파 스펙트럼을 통해 다음과 같이 고조파 차수와 진폭을 파악할 수 있습니다.

- 단상 부하를 공급하는 변압기에서는 관심 대상인 주 고조파의 차수는 3차입니다. 3차 고조파는 중성 상태에서 산술적으로 더해지고 델타-와이 변압기의 1차 델타에서 순환합니다. 델타-와이가 시스템의 나머지 부분을 3차에서 격리하는 경향이 있다는 것은(5차, 7차 또는 다른 비 3배수 고조파에서는 격리하지 않지만) 장점입니다. 그러나 변압기에 열이 더 발생한다는 점은 단점입니다.

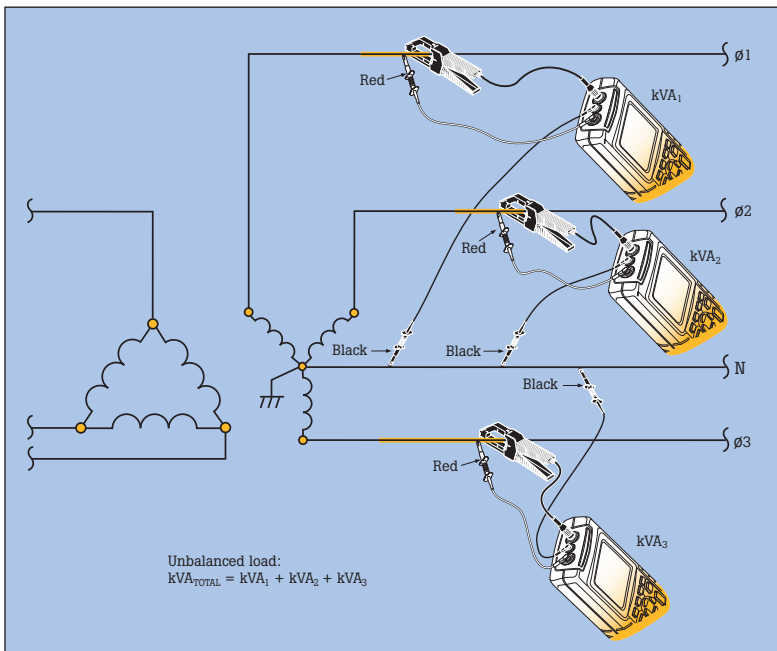


표 1: 배전 변압기 측정

| 측정 | 예상 |
|-------------|---|
| 1. kVA | 변압기 부하. 부하가 50%를 초과하는 경우 고조파를 확인하고 부하를 낮출 필요성이 있는지 점검한다. |
| 2. 고조파 스펙트럼 | <ul style="list-style-type: none"> 고조파 차수/진폭 존재: 3차 고조파(단상 부하), 5차, 7차(주로 3상 부하) 더 높은 차수의 고조파 공진 고조파 제거 필터의 유효성 |
| 3. TH | 한계 내에서의 고조파 부하: 전압 %THD < 5% 전류 %THD < 5-20%(표 2) |
| 4. K 계수 | 고조파 부하로 인해 변압기에 미치는 열 효과 |
| 5. 접지 전류 | <ul style="list-style-type: none"> 허용할 수 없는 접지 전류는 정량화되지 않지만 NEC에서는 이를 금지함 중성 접지 결합 사용 접지 전극(일반적으로 건축용 철재)에 ESG(Electrical Safety Ground) 커넥터 연결 |

- 6개의 펄스 컨버터가 있는 UPS 시스템 또는 드라이브를 포함한 3상 부하를 공급하는 변압기에서는 5차 및 7차 고조파가 두드러지는 경향이 있습니다. 5차 고조파는 역상이기 때문에 이 고조파가 과도할 경우 특히 문제가 됩니다. 5차 고조파가 과도하면 단상 모터에서 역 토크와 과열이 발생하기 쉽습니다.
- 고조파 진폭은 보통 주파수가 상승함에 따라 감소합니다. 한 주파수가 그보다 낮은 주파수보다 진폭이 상당히 더 클 경우, 그 주파수에서 공진 상태의 발생을 의심해 볼 수 있습니다. 그런 상태가 감지되는 경우에는 콘덴서

뱅크에서 측정값을 판독하여 콘덴서가 과전류/과전압 상태인지 확인해야 합니다.

- 이전과 이후의 고조파 스펙트럼 측정은 제거 필터와 같은 고조파 경감 장치가 특정 주파수에 맞춰 튜닝되고 적당한 크기를 가지고 있으며 예상대로 작동하는지 확인하는 데 지극히 중요합니다.
- 다양한 고조파 주파수가 다양한 방식으로 장비에 영향을 줍니다(아래 참조).

3. 총 고조파 왜곡

다음과 같이 THD의 전압과 전류를 모두 점검합니다.

- 전압의 경우, THD가 5%를 초과하면 안 됨
- 전류의 경우, THD가 5-20%를 초과하면 안 됨(홀수 고조파 표 참조)

IEEE 519는 공공 설비와 고객 간의 공통 결합점(PCC)에서 고조파에 대한 한계를 설정합니다(EN50160은 유럽 표준임). IEEE 519는 PCC에서 얻은 THD 측정값을 기준으로 합니다. (보조 변압기가 다수의 고객에게 전력을 공급하는 경우 PCC가 2차 지점에 있는 경우도 있지만) 기술적으로, PCC는 공공 설비 공급 변압기의 1차 지점입니다. 실제로 이런 측정은 고객 주 변압기의 2차 지점에서 종종 수행됩니다. 그 지점이 모든 관계자가 가장 쉽게 접근할 수 있는 지점이고, 일반적으로 저전압 측정이기도 하기 때문입니다.

일부 PQ 업체는 공급기 시스템에서처럼 시설 내에 이런 지점을 포함하기 위해 PCC의 개념을 넓혔으며, 여기서 한 세트의 부하에서 생성되는 고조파 전류가 상당한 전압 왜곡을 일으켜 다른 세트의 부하에 영향을 줄 수 있습니다. 단순히 공공 설비 PQ에 영향을 주지 않는 것보다는 플랜트 내 PQ를 개선한다는 데 중점을 둡니다.

3a. 전압 THD

THD는 산업계에서 오랜 역사를 지니고 있습니다. 기본 개념은 부하에 의해 생성된 고조파 전류가 시스템 임피던스를 통과하면서 전압 왜곡($E=IZ$)을 일으킬 것이라는 사실입니다. 그러면 이 전압 왜곡이 고조파를 시스템 전체로 옮기는 역할을 하게 됩니다. 예를 들어, 왜곡된 전압이 모터와 같은 선형 부하로 작용하면 그 선형 부하에 고조파 전류가 생성됩니다. 전압 왜곡의 최대 한계를 설정하여 시스템 전체에 미치는 고조파의 영향에 대한 한계를 설정합니다.

고조파 시퀀스

| Name | F | 2nd | 3rd | 4th | 5th | 6th | 7th | 8th | 9th |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frequency | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 |
| Sequence | + | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 |

규칙: 파형이 대칭인 경우에는 고조파도 사라집니다.

고조파 시퀀스의 효과

| 시퀀스 | 회전 | 효과(표피 효과, 와전류 등의 효과) |
|-----|-----|------------------------|
| 양수 | 정회전 | 도체, 회로 차단기 등의 발열 |
| 음수 | 역회전 | 위와 같은 발열 + 모터 문제 |
| 제로 | N | 발열 + 3상, 4선 시스템의 중성 추가 |

고조파는 다음과 같이 분류됩니다.

- 순서 또는 번호: 기본파의 배수를 나타냅니다. 그래서 3차는 기본파의 3배, 즉 180Hz입니다.
- 홀수 또는 짝수 순서: 비선형 부하의 정상 작동 중에는 홀수 고조파가 생성됩니다. 시스템에 직류가 흐를 때는 짝수 고조파만 나타납니다. 전원 회로에서는 다이오드 또는 SCR과 같은 고체 소자가 컨버터 회로에서 고장일 때 이런 현상이 발생하는 경향이 있습니다.
- 시퀀스:
 - 양의 시퀀스: 기본 효과는 과열입니다.
 - 음의 시퀀스: 모터에서 역 토크를 일으킵니다. 즉, 모터를 역회전시켜 모터 과열을 일으키기 쉽습니다. 주로 5차 고조파입니다.
 - 제로(0) 시퀀스: 3상, 4선 시스템의 중성을 추가합니다. 주로 3차 고조파입니다.

표 2: 공통 결합점에서 고조파 전류에 대한 IEEE 519 한계

(모든 백분율은 최대 수요 부하 전류인 IL 대비 비율(%))

| SCR=Isc/IL | Odd Harmonics | | | | | TDD |
|------------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <11 | 11-17 | 17-23 | 23-35 | >35 | |
| <20 | 4.0 % | 2.0 % | 1.5 % | 0.6 % | 0.3 % | 5.0 % |
| 20-50 | 7.0 % | 3.5 % | 2.5 % | 1.0 % | 0.5 % | 8.0 % |
| 50-100 | 10.0 % | 4.5 % | 4.0 % | 1.5 % | 0.7 % | 12.0 % |
| 100-1000 | 12.0 % | 5.5 % | 5.0 % | 2.0 % | 1.0 % | 15.0 % |
| >1000 | 15.0 % | 7.0 % | 6.0 % | 2.5 % | 1.4 % | 20.0 % |

SCR = 단락비(Isc/IL)
 Isc = PCC에서 사용할 수 있는 단락 전류
 IL = 최대 수요 부하 전류(rms amps)
 TDD = 총수요왜곡

참고: IEEE에서는 하루에 가장 1시간 동안 이 한계를 초과하도록 허용하는 반면, IEC에서는 시간의 최대 5%에 한해 초과하도록 허용합니다.

최대 수요 부하 전류인 IL의 개념은 표 2를 사용하는 데 관련입니다. 기존 시설의 경우에는 12개월 연속으로 최대 수요 전류의 평균으로 IL을 계산합니다(이 정보는 전력 요금 기록에서 확인 가능). 새로 설치된 시설에 대해서는 IL을 추정해야 합니다. 변압기의 정격 사양을 사용할 수 있으며, 변압기를 최대 용량으로 사용하는 것으로 가정하므로 가장 보수적인 추정치(즉, 최저 SCR에 해당하는 값)로 정격 사양을 정합니다.

하지만 전압 왜곡은 소스 임피던스, 즉 시스템 용량에 따라 다릅니다. 첫 번째(또는 두 번째나 세 번째) 고객이 시스템에 상당한 고조파 전류를 주입해도 전압 THD가 5%를 초과하지 않도록 하는 것은 충분히 가능했습니다. 고조파 경감의 전체적인 책임은 비록 특정 고조파 부하가 말 그대로 상대적으로 작아서, 마치 지푸라기 하나 더 없었을 뿐인데 짐을 잔뜩 지고 있던 낙타의 등이 부러진 것과 같은 상황이었다 하더라도, V-THD가 5%를 초과하도록 만든 운이 나쁜 마지막 고객에게 고스란히 지워질 수 있습니다.

장비 제조업체의 경우, 1995년에 발표된 IEC 1000-3-2가 적용 가능한 표준입니다. IEC 1000-3-2에서는 40차 고조파까지 최대 전류 레벨을 지정합니다. 이 표준은 2001년 초에 발효될 것으로 예상됩니다. 유럽 시장을 위한 요구 사항인 CE의 인증을 받으려면, 제조업체가 이 표준을 충족해야 합니다. 이런 규정은 전원 공급 장치의 설계에 중대한 영향을 미칩니다. 시설에는 IEEE 519가 표준입니다(유럽에서는 EN 50160). 고조파 전류에 대해 IEEE 519에 설정된 한계는 시스템 용량에 비해 고객의 규모가 얼마나 큰지에 따라 다릅니다. (표 2 참조)

단락비(SCR)는 공공 설비 전원에 비해 고객의 전기 설비 규모를 나타내는 척도입니다. 고객의 규모가 작을수록(SCR은 더 높음) 공공 설비 전원에 대한 잠재적 영향은 줄고 고조파 한계가 더 관대해집니다. 고객의 규모가 클수록(SCR은 더 작음) 고조파 전류에 대한 한계가 더 엄격해집니다.

3c. TDD 및 THD

총 수요 왜곡(TDD)은 최대 부하(IL)에 대한 전류 고조파의 비입니다. THD는 순시 부하에 대한 고조파의 비라는 점에서, TDD는 THD와 다릅니다. THD 대신 TDD를 사용하는 이유는 무엇일까요? (시스템 용량 중 일부만 사용하여) 가벼운 부하를 실행 중이지만 이 부하가 비선형이었다고 가정해 봅시다. THD는 비교적 높지만, 실제로 생성되는 고조파 전류는 낮고 전원 공급 시스템에 미치는 효과는 사실상 무시할 수 있는 수준일 것입니다. 따라서 아무도 THD에는 관심을 두지 않습니다. TDD는 이 점을 알고서 고조파 부하를 최대 부하로 간주할 수 있습니다. 고조파 부하가 최대 부하에서 높다면 전원에 미치는 영향에 주의해야 합니다. 그래서 이럴 때는 전류 THD가 유용한 측정 기준이 됩니다. 전류 THD 판독 값이 최대 부하의 조건에 가까운 값이 될수록 이 값은 TDD에 가까워집니다.

3b. 전류 THD

이 상황을 좀 더 공정하게 다루기 위해 최대 전류 고조파에 대한 기준이 추가되었습니다. 전류 고조파는 지역별로 각 시설과 장비 제조업체가 통제했었기 때문입니다(고조파 "부하"는 고조파의 "발생기"로 작용한다는 점을 기억할 것). 부하가 사실상 아무런 고조파도 생성하지 않아야 한다는 머지않은 요구 사항을 포함하여, 이렇듯 부하 시 전류 고조파의 경감을 강조하는 것이 우세한 규제상의 철학이 되었습니다. 따라서 지역별 현장과 장비 제조업체의 책임이 더욱 커집니다.

표 3

| 변압기 접지의 검사 | 설명 |
|--|--|
| N-G 결합을 검사합니다. | 고 임피던스 N-G 결합은 전압 변동의 원인이 됩니다. |
| 접지 도체와 건축용 철재에 대한 연결의 무결성을 점검합니다(발열 용접). | 고장 전류가 이런 연결을 통해 전원으로 되돌아오므로, 이런 전류의 임피던스는 최대한 낮아야 합니다. |
| 모든 도관 연결의 기밀 상태를 점검합니다. | 도관 자체가 접지되지 않은 경우에는 도관이 더욱 높은 주파수와 함께 고장 전류의 "초크" 역할을 하는 경향이 있습니다(고장 전류는 꼭 60Hz에서 발생하지는 않고 f 성분이 높음). |
| 접지 도체에서 접지 전류를 측정합니다. | 접지 전류가 없는 것이 이상적이겠지만, 접지에 대한 중성 또는 위상에서 연결된 보호 구성 요소(MOV 등)의 누출 또는 정상적인 작동으로 인해 항상 약간의 접지 전류가 있습니다. 하지만 어떤 암패어 이상의 접지 전류는 의심의 원인이 됩니다(확실하고도 빠르게 확인할 수 있는 규칙은 없지만, 경험이 많은 PQ 문제 해결 전문가가 가능한 문제를 감각적으로 파악함). |

4. K-factor

K 계수는 일반적으로 고조파가 일으키는 발열 효과, 특히 변압기에 대한 발열 효과를 구체적으로 평가하는 척도입니다. K 계수는 고조파 차수의 진폭뿐 아니라 주파수도 강조한다는 점에서 THD 계산과는 다릅니다. 이는 발열 효과가 주파수의 제곱으로 증가하기 때문입니다.

판독 값이 K-4라면 이는 표유손 발열 효과가 정상의 4배라는 의미입니다. 표준 변압기는 실제로는 K-1 변압기입니다. THD와 마찬가지로, 상류에서 일정한 양의 소거가 발생할 것이기 때문에 부하 또는 콘센트에서 K 계수를 잘못 판독하게 되며, 변압기 K 계수가 중요합니다. K 계수가 결정되면 다음으로 높은 공칭 치수를 선택합니다. K 계수 정격 변압기는 K-4, K-13, K-20, K-30 등의 표준 공칭 치수로 구입할 수 있습니다. K-13은 일반적인 사무실에서 사용하는 수준의 부하에 적당하게 전력을 공급하는 변압기의 공통 정격 사양입니다. 정격 사양이 높은 변압기는 컴퓨터와 기타 PQ에 민감한 하드웨어에 전력을 공급하도록 특별히 설계된 배전 장치(PDU)에 패키지 형태로 포함되어 제공되는 경향이 있습니다.

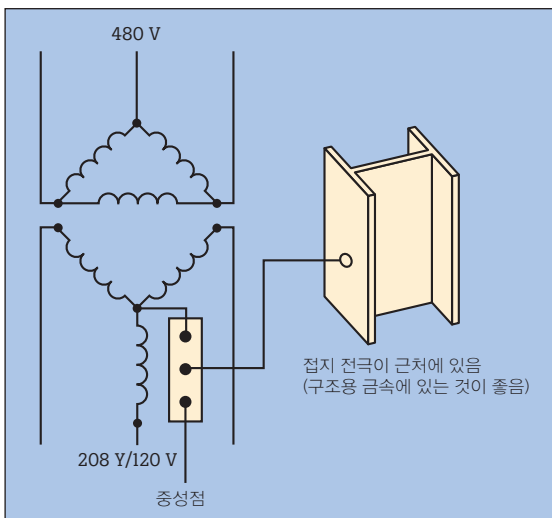


그림 3. 변압기 접지

5. 접지 전류

과도한 접지 전류의 두 가지 주요 추정 원인은 잘못된 N-G 결합(하위 패널, 콘센트 또는 장비에서도 발견되는 문제점)과 소위 절연된 접지봉입니다.

- 하위 패널 N-G 결합은 정상적인 회귀 전류가 접지 도체를 통해 회귀하도록 평행 경로를 만듭니다. 언젠가 중성점이 열리게 되면 장비 안전 접지가 유일한 회귀 경로가 되며, 이 회귀 경로가 고 임피던스인 경우 위험 전압이 발생할 수도 있습니다.
- 별개의 절연 접지봉은 거의 항상 서로 다른 전위에 두 개의 접지 기준을 만들고, 이는 다시 이런 전위를 균등화하려는 시도로 "접지 루프" 전류를 순환시킵니다. 안전 위험 및 장비 위험도 발생합니다. 번개가 치는 경우, 서로 다른 접지 전위에서 접지로 이동하는 서지 전류가 위험 전위차를 생성합니다.

변압기 접지

변압기를 올바르게 접지하는 것이 매우 중요합니다. (표 3.3 참조) SDS의 접지 요구 사항에 대해 일반적인 내용은 NEC Article 250에, 특수한 사항은 250-26에 나와 있습니다.

- 접지 기준은 일반적으로 건축용 철재에 대한 접지 연결로 설정됩니다(이는 차례대로 모든 냉수 파이프는 물론이고, 모든 접지 전극에도 결합되어야 함). 시간이 지나면서 느슨해질 수 있는 클램프가 아니라, 발열 용접으로 결합해야 합니다. (특히, 고장 전류에 고주파 성분이 있기 때문에) "접지 전극 도체" 자체의 고주파 임피던스는 최대한 낮아야 합니다. 넓고 평평한 도체가 높은 주파수에서 유도 리액턴스가 작기 때문에 둥근 도체보다 낫습니다. 같은 이유로, "시스템에 대한 접지 전극 도체 연결부" (즉, 변압기의 N-G 결합 지점)와 접지 전극(건축용 철재) 사이의 거리는 최대한 짧아야 합니다. 규정의 표현을 인용하자면, "같은 구역 내에서 가능한 한 가까운" 것이 좋습니다.
- 중성점과 접지는 변압기 중성 모선의 한 점에 연결해야 합니다. 주 패널에 N-G 결합을 할 수는 있지만, 정상적인 회귀 전류와 접지 전류를 분리한 상태로 유지하기 위해 그렇게 하지 않는 것이 좋습니다. 변압기의 이 지점은 시스템 상에 N-G를 결합해야 하는 유일한 지점입니다.

Solutions

변압기 관련 PQ 문제에 대해서는 다음과 같은 여러 가지 해결책이 있습니다.

- 배전 변압기 추가 설치(별도 유도 시스템)
- 변압기 부하 감소
- K 등급 변압기 설치
- 강제 공기 냉각 방식 사용

1. 별도 유도 시스템(SDS)

배전 변압기는 NEC(Article 100)에 정의된 용어인 별도 유도 시스템(SDS, Separately Derived System)을 위한 전원 공급 장치입니다. 핵심 아이디어는 이 변압기의 2차 장치를 하류의 모든 부하를 위한 새로운 전원으로 사용한다는 것입니다. 이는 PQ 배전 시스템 개발에서 강력한 힘을 발휘하는 개념입니다. SDS는 다음과 같은 여러 가지 중요한 목적을 달성하는데, 모두 PQ에 유리한 것입니다.

- SDS는 새 전압 기준을 설정합니다. 변압기에는 공급기 측의 전압 강하를 보상하기 위해 2차 전압을 단계적으로 상승 또는 하강시킬 수 있는 탭이 있습니다.
- SDS는 부하와 전원 사이의 거리를 때로는 급격하게 줄여 소스 임피던스를 낮춥니다. 전압 외란(특히 새그)의 가능성이 최소화됩니다.
- SDS는 절연 효과를 거둡니다. 1차 및 2차 전압 사이에 전기적 연결이 없고 자기적 결합만 있으므로, SDS는 부하를 전기 시스템의 나머지 부분에서 절연합니다. 이런 절연을 고조파 외란으로 확장하기 위해, 특수 제작된 "절연 변압기"는 1차 및 2차 전압 간에 차폐를 제공하여 RF(무선 주파수) 노이즈를 접지로 분류시킵니다. 그렇지 않으면, 1차 및 2차 전압 간의 용량성 결합이 이런 고조파 신호를 바로 통과시키기 쉽습니다.
- 새로운 접지 기준이 설정됩니다. SDS의 정의 중에 "다른 시스템에서 비롯된 도체에 전력을 공급하기 위해 견고하게 연결된 접지 회로 도체를 포함하여 직접적인 전기 연결이 없다"는 내용이 있습니다(NEC 100). 접지

루프에서 SDS가 담당하는 하위 시스템을 분리하고 SDS에서 접지 노이즈 상류 부분을 분리하고 그 반대로도 분리할 수 있는 기회가 있습니다.

고조파는 그와 동등한 기본파 전류보다 빠른 속도로 변압기에서 발열을 일으킵니다. 이는 고조파의 주파수가 더 높기 때문입니다. 변압기에는 주파수와 함께 증가하는 다음 세 가지 발열 효과가 있습니다.

2. K 등급 변압기

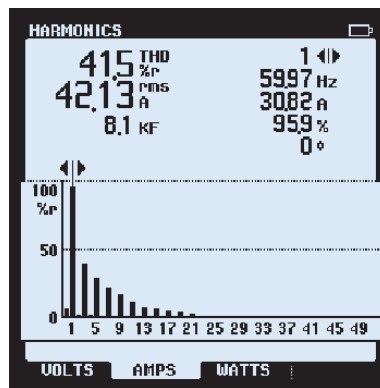


그림 4. 상업용 건물의 일반적인 K 계수

- **히스테리시스.** 강철이 자기화될 때, N극이 모두 한 방향을 가리키고 S 극이 반대 방향을 가리키도록 자기 쌍극자가 모두 일렬로 정렬됩니다. 이런 극은 인가된 전류의 극성과 함께 바뀝니다. 주파수가 높을수록 더 자주 극성이 바뀌고, 마찰 효과와 유사한 프로세스를 통해 열 손실이 증가합니다.
- **와전류.** 자기장이 교대로 바뀌면 국부적으로 전류의 소용돌이가 발생하여 열 손실이 생깁니다. 이 효과는 주파수의 제곱으로 증가합니다. 예를 들어, 3차 고조파 전류는 기본파에서 같은 전류에 비해 발열 효과가 9배입니다.
- **표피 효과.** 주파수가 증가함에 따라, 전자는 도체의 바깥쪽 표면으로 이동합니다. 더 많은 전자가 더 적은 공간을 사용 중이므로, 도체의 유효 임피던스가 증가했습니다. 더 높은 주파수에서는 도체가 마치 게이지와 전류 용량은 더 낮고 임피던스는 더 높은 와이어인 것처럼 동작합니다.



업계에서는 변압기에 미치는 고조파의 효과에 대해 두 가지 일반적인 해결책으로 대응했습니다. 즉, K 계수 정격 변압기를 설치하거나 표준 변압기의 부하를 감소하는 방법입니다. K 계수 접근 방식에 대한 찬반 입장부터 먼저 살펴봅시다. K 계수는 rms 값, 고조파 전류의 %HD(고조파 왜곡) 및 고조파 차수(번호)의 제곱을 바탕으로 한 계산 값입니다. 고조파 분석기가 자동으로 계산을 수행할 것이므로, 실제로 계산을 수행할 필요는 없습니다. 이해해야 할 중요한 사항은 고조파 차수가 방정식에서 제곱으로 계산되고 이때 와전류 손실과 같은 고조파 발열 효과를 정확하게 고려해야 한다는 점입니다. K 등급 변압기는 고조파의 발열 효과를 최소화하고 수용하도록 설계되었습니다. K 등급 변압기는 고조파를 제거하지 않습니다(필터와 같은 추가 요소가 더해지지 않은 경우). 이 변압기는 단 하나의 큰 권선 대신 다수의 작은 평행 권선을 사용하는 것과 같은 기법으로 고조파를 받아들입니다. 그러면 전자가 이동할 표피가 더 넓어집니다. 1차 델타 권선은 과열이 발생하지 않고 3차 고조파 전류가 순환할 수 있도록 크게 제작됩니다. 2차 측의 중성점도 3차 고조파를 고려하여 크게 설계됩니다(일반적으로 위상 전류 용량의 2배 크기).

K 계수 변압기의 응용 문제

K 등급 변압기는 널리 사용되어 왔지만, 몇 가지 문제가 있습니다. 많은 컨설턴트는 K-20 이상의 변압기가 통합 배전 장치(PDU)의 일부로 제공될 수도 있지만 K-13보다 높은 등급의 변압기를 사용할 필요는 없는 것으로 봅니다. 또한, 이전에는 K 등급 변압기를 사용할 때 가끔 K 등급 변압기의 내부 임피던스가 반드시 낮아야 한다는 사실을 간과했습니다. 표준 변압기의 임피던스는 보통 5-6% 범위인 데 반해, K 등급 변압기의 임피던스는 2-3%까지 낮은 수준일 수 있습니다(K 등급이 올라갈수록 낮아짐). 표준 변압기를 kVA가 같은 K 등급 변압기로 교체하는 개장 작업 시, 단락 회로를 새로 계산하고 2차 과전류 보호 장치의 크기를 다시 조정해야 할 수도 있습니다.

3. 표준 변압기의 부하 감소

일부 시설 관리자는 주로 비선형의 단상 부하를 사용할 변압기에 대해 경험적으로 50% 부하 감소 기법을 사용합니다. 즉, 150kVA 변압기가 75kVA의 부하만 공급한다는 의미입니다. IEEE 1100-1992(Emerald Book)에 나와 있는 부하 감소 곡선을 보면 상업용 오피스 건물에서 확실히 가능한 스위치 모드 전원 공급 장치(SMPS)로 구성된 부하의 60%로 작동하는 변압기는 사실은 50%의 부하를 감소해야 한다는 것을 알 수 있습니다. 다음은 단상 부하에 대한 변압기 부하 감소만 계산하는 데 허용되는 방법입니다. 이 방법은 단상 회로에서는 3차 고조파가 우세하고 왜곡된 전류 파형이 예측 가능한 방식으로 피크를 형성하는 것으로 보이도록 한다는 매우 합리적인 가정을 바탕으로 합니다.

트루 rms 측정기를 사용하여 다음과 같이 전류를 측정합니다.

1. 각 2차 위상의 rms와 피크 전류를 측정합니다. (피크는 돌입 전류 또는 "피크 부하" rms 전류가 아니라, 순시 피크를 지칭함)
2. 세 rms 판독 값의 산술 평균과 세 피크 전류를 구하고 3단계(부하가 본래 평형 상태인 경우에는 이 단계가 불필요함)에서 이 평균을 사용합니다.
3. Xformer 고조파 부하 감소율(x-HDF)을 계산합니다. $xHDF = (1.414 * IRMS) / IPEAK$
4. 또는 피크/RMS의 비는 파고율로 정의되므로, 이 등식을 $xHDF = 1.414 / CF$ 로 다시 쓸 수 있습니다.

시험 장비에 이 기능이 있는 경우에는 각 위상의 CF를 직접 측정합니다. 부하가 불평형 상태인 경우에는 세 위상의 평균을 구하고 위 식에서 이 평균을 사용합니다.

사인파 전류 파형의 CF = 1.414
이므로 xHDF = 1이 됩니다. 즉, 부하 감소가 없습니다. 3차 고조파가 많을수록 피크와 CF가 높아집니다. CF가 2.0이었다면 $xHDF = 1.414 / 2 = 0.71$ 입니다. CF = 3이면 $xHDF = 0.47$ 입니다. CF = 3인 파동은 단상 배전 변압기에서 볼 수 있을 만큼 전류 파형이 왜곡됩니다.

사인파 전류 파형의 CF = 1.414
이므로 xHDF = 1이 됩니다. 즉, 부하 감소가 없습니다. 3차 고조파가 많을수록 피크와 CF가 높아집니다. CF가 2.0이었다면 $xHDF = 1.414 / 2 = 0.71$ 입니다. CF = 3이면 $xHDF = 0.47$ 입니다. CF = 3인 파동은 단상 배전 변압기에서 볼 수 있을 만큼 전류 파형이 왜곡됩니다.

주의: 이 방법은 3차 고조파 이외의 고조파가 우세한 경향이 있고 CF가 왜곡량을 간단히 예측하는 수단으로 유용하지 않은 3상 부하를 공급하는 변압기에는 적용되지 않습니다. 3상

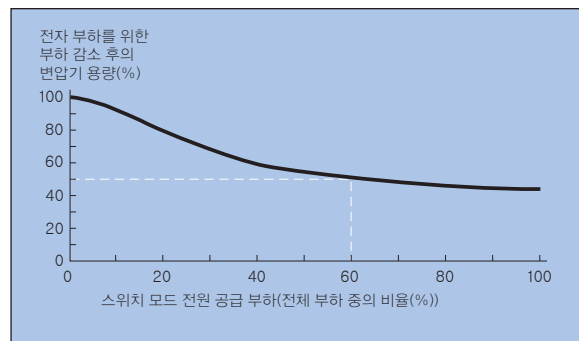


그림 5. 변압기 부하 감소 곡선(IEEE 1100-1992)

부하의 계산 방법은 ANSI/IEEE C57.110에서 확인할 수 있습니다. 하지만 이 계산에서는 고조파가 일으킬 수 있고 발열 효과만으로는 발생할 수 없는 수준으로 변압기의 마모를 가속화하는 기계적 공진 진동이 과소 평가될 수 있으므로, 이 계산 방법에 대해서는 약간의 논쟁이 있습니다.

4. 강제 공기 냉각

열이 문제인 경우에는 냉각이 해결책입니다. 팬을 작동시켜 변압기에서 돌려 강제 공기 냉각 방식을 사용합니다. 경험이 많은 작업자는 이 방식을 사용하면 20-30%의 효과가 있는 것으로 판단합니다. 어떤 경우든 이 방법은 도움이 될 수 있습니다.

Fluke. Keeping your world up and running.®

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Korea
서울특별시 강남구 테헤란로 507 12층 (삼성동, 일송빌딩)

(주)한국플루크 **Fluke Korea**
Tel. 02.539.6311 Fax. 02.539.6331

(주)한국플루크 대구지사
Tel. 053.382.6311 Fax. 053.382.6331

www.fluke.co.kr

©2014 Fluke Corporation.
Specifications subject to change without notice.
09/2014 Fluke Korea

Fluke Corporation의 서면 동의 없이 이 문서를 수정할 수 없습니다.