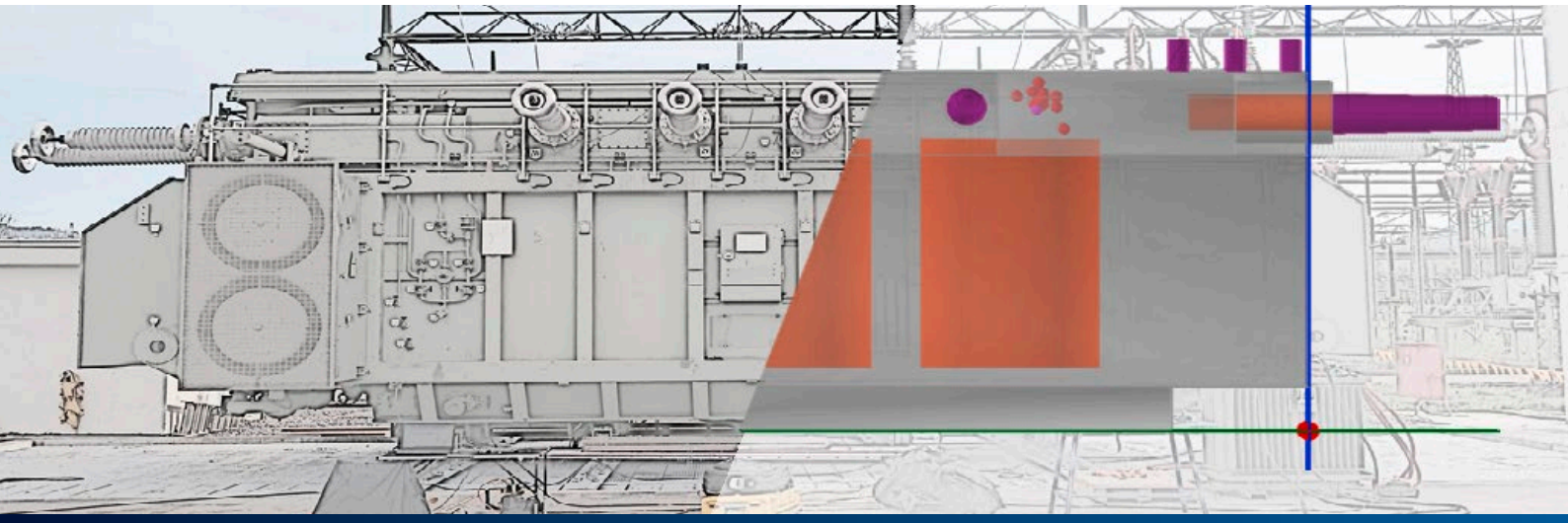

전력 변압기에서 부분 방전 측정, 위치 파악 및 모니터링

전력망의 핵심 요소인 전력 변압기는 작동 중에 다양한 수준의 전기적, 열적, 기계적 및 화학적 스트레스 상태에 놓여집니다. 안정적이고 안전한 작동을 보장하려면 변압기의 수명 주기 동안 지속적으로 노화되는 시스템의 절연 성능을 평가하는 것이 중요합니다. 부분 방전(PD) 측정은 복잡한 절연 시스템에서 약한 부분을 측정 및 평가하고 위치를 파악할 수 있는 비파괴적 측정 수단입니다. 일반적으로 전력 변압기에서 PD 측정은 품질 보증의 일부로 제조 공정 과정 및 현장 설치 후 수행됩니다. 또한 사용중인 설비의 경우 건전 상태를 파악하기 위한 유지보수 수단으로 사용됩니다.

PD는 전기 절연 시스템 내에서 약한 영역이 국부적으로 전기적 고장을 일으키는 현상으로, 빠른 전류 임펄스를 발생시킵니다. 이러한 전기 신호는 종종 압력파, 전자기 신호, 화학적 효과 또는 광학 효과와 같은 다른 물리적 효과를 동반합니다. [1] 기존 및 새로운 도구를 사용하여 여러 가지 효과에 대한 PD 측정을 수행하고 그 결과를 결합시키면 보다 의미있는 평가가 가능합니다.

사례 연구 – 300MVA 유입 변압기의 PD 측정

300MVA 변압기 운송을 위해 220kV 및 110kV 권선의 고전압(HV) 부싱을 해체해야 했습니다. 새 변전소에 부싱을 장착한 후, 부싱 돔에 오일을 다시 채워야 했습니다. 수평으로 배향된 부싱으로 인해 가스 기포가 생기는 것을 방지하기 위해 작업을 매우 조심스럽게 수행해야 했습니다. 적절한 충전을 확인하기 위해 부분 방전(PD) 측정이 수행되었습니다.

그림 1은 수평 220kV 및 110kV 부싱이 있는 300MVA 변압기와 디젤 발전기로 300MVA 변압기를 여자시키기 위한 24/0.4kV의 소형 승압 변압기를 보여줍니다.

그림 1
300 MVA 변압기 보기

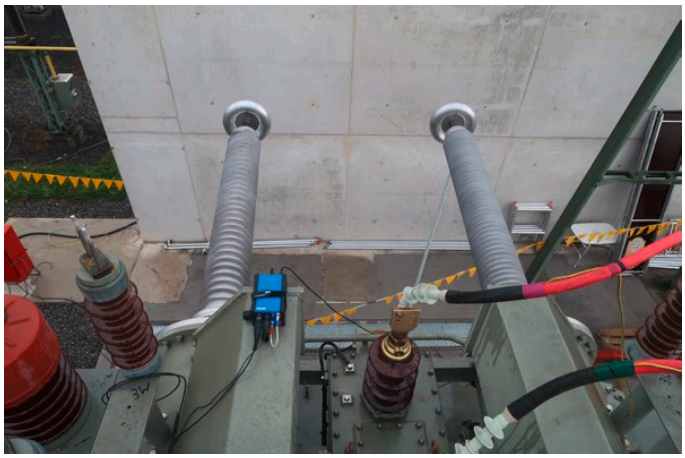

그림 2
위상 1U 및 1V에서 PD 측정을 위한 설정

이 글은 Transformers Magazine 2021년 1월 호에 처음 게재되었습니다.

© OMICRON electronics GmbH

전기 PD 측정

테스트 설정은 IEC 60270 [2]에 따라 수행했으며 모든 220kV 및 110kV 부싱의 측정 탭에서 PD 및 AC 신호를 동시에 분리했습니다. 그림 2는 220kV 부싱 1U 및 1V에서 MPD 800 PD 탐지 계측기의 설정을 보여줍니다. 두 부싱 탭의 신호는 추가 커플링 장치를 사용하지 않고도 하나의 MPD 800 검출기에 직접 연결할 수 있습니다. 그림 3은 전체 PD 테스트 설정을 보여줍니다.

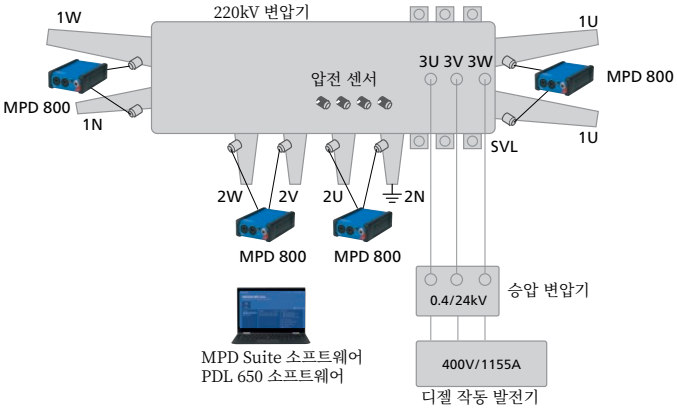

그림 3
PD 측정을 위한 구성

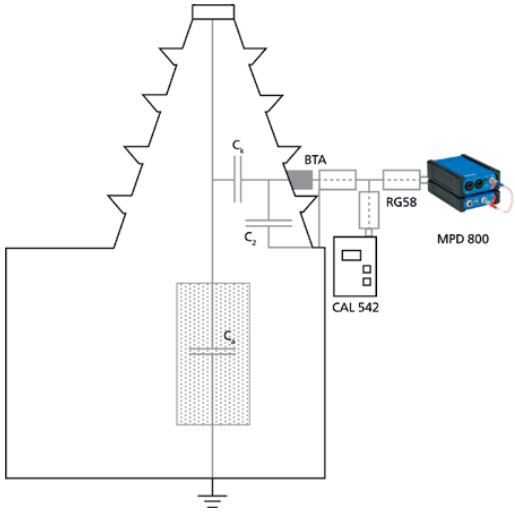

그림 4
부싱 탭에 직접 주입되는 인공 임펄스

교정 신호가 모든 부싱에 주입되어 교차 커플링 매트릭스를 결정할 수 있습니다. HV에서 접지까지의 기존 PD 교정 외에도 부싱 탭에서 직접 오류를 시뮬레이션하기 위해 교정 신호를 부싱의 측정 탭에 주입하면서 기록을 수행했습니다. [1].

주변 노이즈 수준은 400kHz의 중심 주파수와 600kHz의 대역폭 측정을 사용하여 0.5xUn에서 10pC 미만이었습니다. 공칭 전압 이하에서도 측정 지점 1U에서 최대 2nC의 부분 방전을 측정할 수 있었습니다.

교정 교차 결합 매트릭스의 전하 값을 실제 PD 활동의 교차

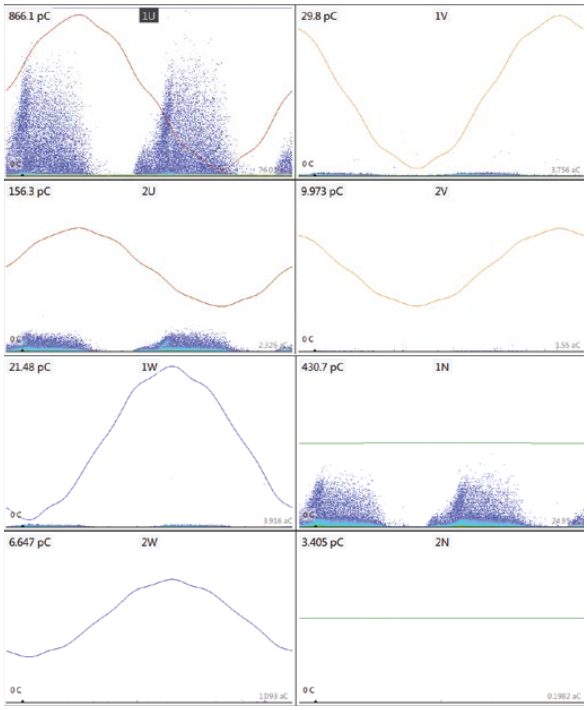

그림 5
0.8 x Un, 선형 뷰의 모든 측정 지점에서 얻은 위상 분해 PD(PRPD)

결합과 비교한 결과, PD 이벤트의 근원이 물리적으로 측정 지점 1U에 가까운 것으로 나타났습니다.

MPD Suite 소프트웨어를 사용하여 테스트 엔지니어는 PRPD 패턴에 trigger window를 그릴 수 있었습니다. 선택한 위상과 진폭 영역에서 발생하는 PD 임펄스만 확대 및 FFT 화면으로 전환됩니다. 이 도구를 사용하면 필터링되지 않은 고주파 신호를 쉽게 비교할 수 있습니다. 부싱 탭에 직접 주입된 신호의 시간 신호와 주파수 스펙트럼을 실제 PD 신호와 비교해 보니 주파수 스펙트럼의 공진뿐만 아니라 상승 시간과 진동에서도 유사성이 높다는 사실이 드러났습니다. 긴 케이블을 사용해야 하는 기존 교정의 주파수 스펙트럼은 일치하지 않았습니다.

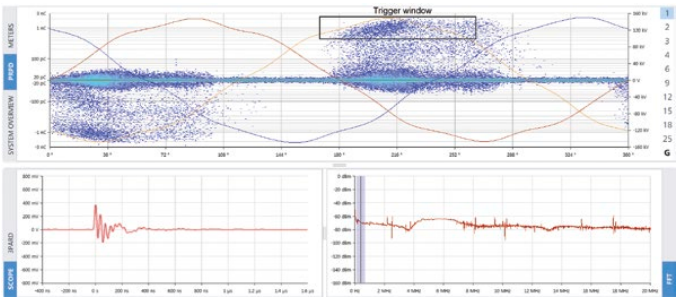

그림 6
MPD Suite 소프트웨어; 1U에서 PRPD 패턴의 로그 쌍극 뷰, trigger window 및 해당 시간과 주파수 신호

© OMICRON electronics GmbH

음향 PD 측정 및 위치 파악

PD 신호의 위치 파악은 결함 위치와 다중 음향 방출(AE) 센서 사이의 음향 신호 시간 차이를 이용해 수행됩니다. 가능한 결함 위치는 소리의 속도와 탱크 벽에 있는 센서의 알려진 기하학적 위치를 사용하여 신호 런타임으로부터 계산됩니다.

MPD 800 PRPD window trigger는 음향 위치 파악 시스템을 트리거할 수 있는 전기 또는 광학 출력 신호도 제공합니다. 이 방법을 사용하면 서로 다른 압전 센서에 대한 지연 시간을 전기 트리거된 PD 임펄스를 참조해 절대적으로 측정할 수 있습니다. 이를 통해 averaging 기능을 사용할 수 있으므로 signal-to-noise 비율이 크게 개선될 수 있습니다. 그림 7은 압전 센서의 측정된 음향 신호와 averaging의 영향을 보여줍니다. 음향 위치 파악은 위상 1U 영역에 설치된 8개의 압전 센서를 이용해 수행되었습니다.

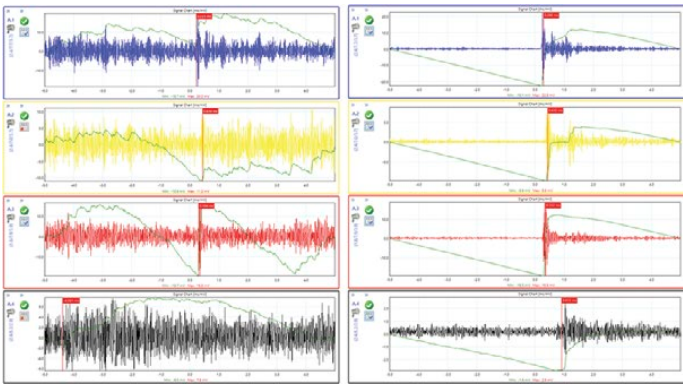

그림 7
전기 신호를 트리거로 사용하여 averaging(왼쪽)이 없는 음향 신호 및 100개 event(오른쪽) averaging

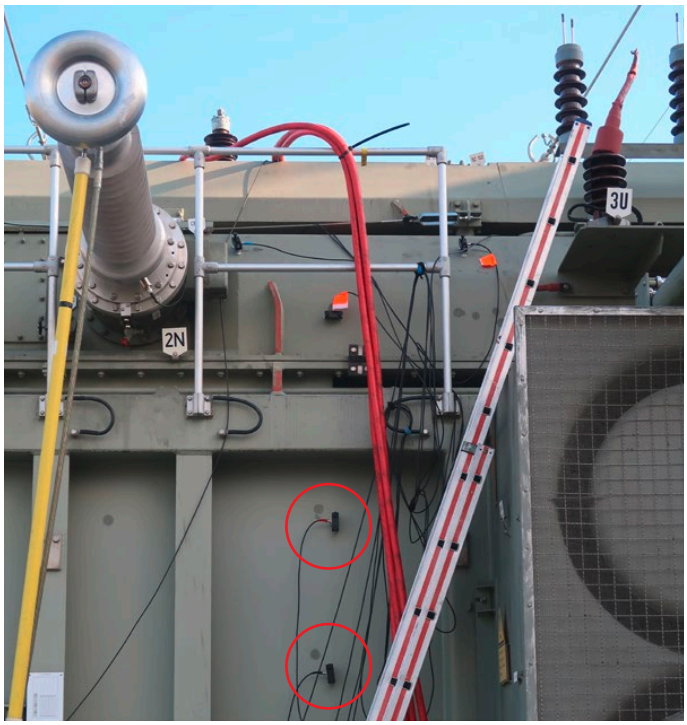

그림 8
압전 센서 설치

삼각 측량 결함 위치와 내부 부분 방전의 음향 신호를 그림 9와 그림 10에 나타냈습니다. 위치는 1U 위상의 220kV 권선에서 고전압 출구 리드 쪽에 가깝습니다.

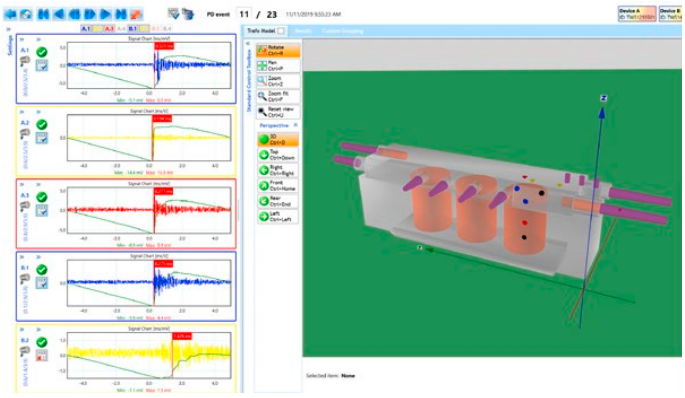

그림 9
압전 센서의 음향 신호

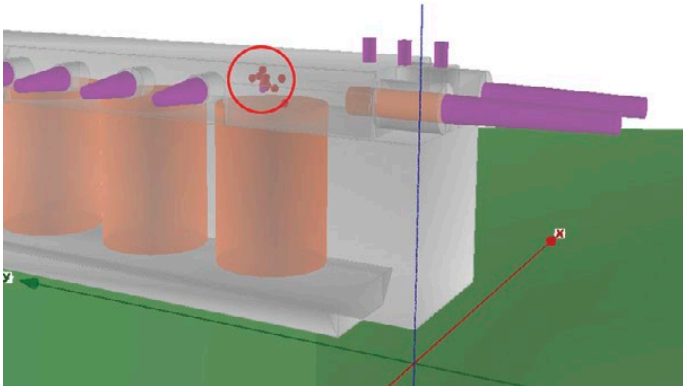

그림 10
위상 1U의 고전압 출구에서 PD 위치

전기 PD 추세 분석 및 모니터링

오프라인 PD 측정 및 위치 파악에서 발견된 결과를 변압기 제조업체와 논의했습니다. PD 발생 및 결함 위치를 고려했을 때 현장에서 수리할 수 없다고 판단되었습니다. 그래서 PD 활동의 추세를 주의 깊게 분석하고 변압기의 절연유에 용해된 가스를 모니터링하면서 설비에 전원을 공급하기로 결정을 내렸습니다.

따라서 변압기의 모든 220kV 부싱에 있는 부싱 탭에 부싱 어댑터를 장착했습니다. 사용된 MONTESTO 200 PD 모니터링 및 추세 분석 장치는 원격 제어가 가능하며 PD 경고 수준이 초과될 경우 제어 센터와 통신할 수 있습니다.

© OMICRON electronics GmbH

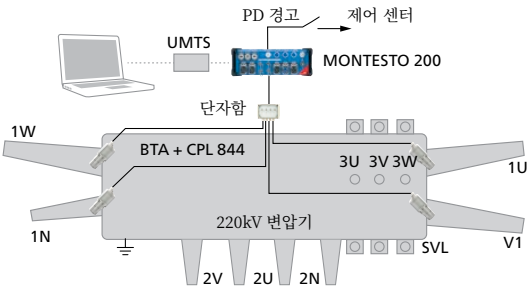

그림 11
PD 모니터링 및 추세 분석 시스템의 전체 구성

변전소의 외부 코로나 방전으로 인해 주파수를 2.2MHz로 조정하여 외부 노이즈를 최소화했습니다. 위상 1U에서 내부 PD 활동의 방전 수준은 작동을 시작한 첫 주 동안 안정적이었지만 이후 한 달 동안 지속적으로 증가하기 시작했습니다. 그림 12는 위상 1U에서 측정된 방전전하가 증가하는 추세를 보여줍니다.

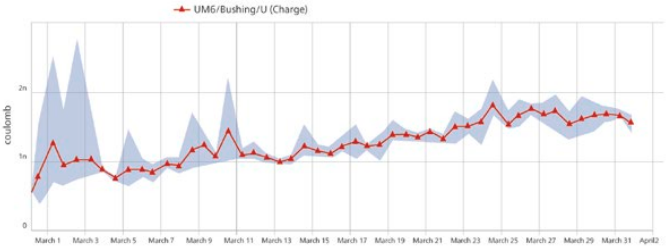

그림 12
위상 1U에서 PD 추세 증가

위상 1U에서 알려진 PD 활동 외에도 약 100pC에서 시작하여 2nC에서 안정화된 두 번째 패턴이 3개월에 걸쳐 확인되었습니다. 이 방전 패턴은 위상 1V의 영향일 수도 있으며 1U에서 얻은 현상과 높은 유사성을 보여줍니다. PRPD 패턴의 발생과 3PARD 다이어그램을 그림 13에 나타내었습니다. 그림 14는 위상 1V에서 얻은 3PARD 필터링된 PRPD 패턴의 발생을 보여줍니다.

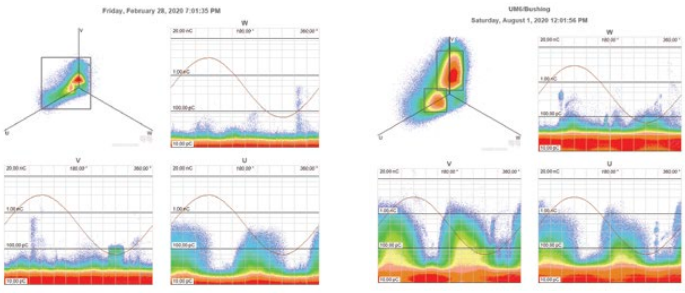

그림 13
5개월의 기간 동안 PD 활동의 전개, 로그 보기

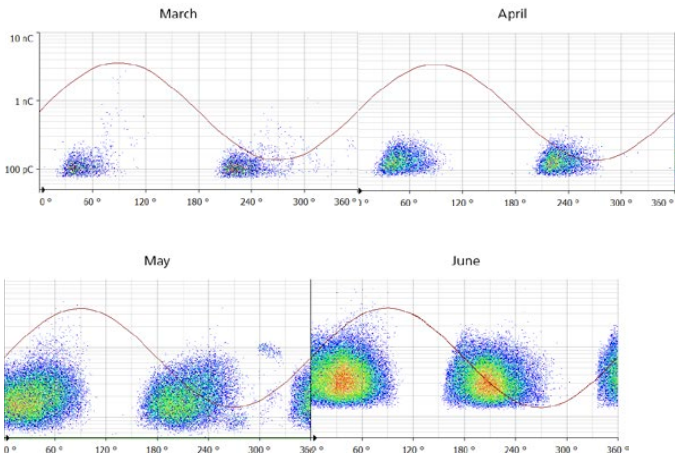

그림 14
3PARD 필터링된 PRPD 패턴 및 위상 1V 획득 패턴의 발생

용존 가스 분석(DGA)

운반 전후의 DGA 결과는 어떠한 결함이나 PD 활동도 나타내지 않았습니다. 작동 중에 수소가 약간 증가했지만 전체 용존 가스의 양은 일반적인 값보다 낮아 신뢰할 수 있는 평가를 수행할 수 없습니다[4]. 고체 절연 부품 내부의 국부적인 결함이 반드시 용존 가스의 증가로 이어지지는 않습니다.

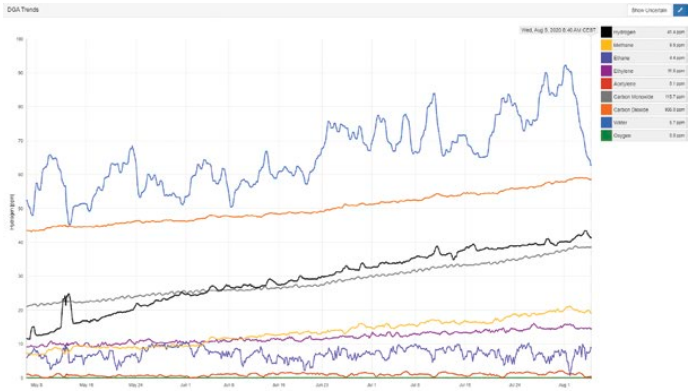

그림 15
3개월 기간 동안 DGA 추세

결론

이 글에서는 전기 PD 측정, 위치 파악, 모니터링 및 추세 분석의 중요성에 대해 설명했습니다. 액체로 채워진 변압기의 현장 PD 측정은 DGA 결과로 인해 수행하게 되는 경우가 많습니다. 300MVA 변압기에 대한 이 사례 연구는 전기적 PD 측정과 추세 분석이 오일의 용존 가스 분석에 비해 더 민감하고 즉각적일 수 있음을 잘 보여줍니다. 시간 및 주파수 도메인에서 필터링되지 않은 신호를 분석하고 3개 이상의 압전 센서로 음향 PD 위치 파악을 수행하면 위치 파악, 해석 및 위험 평가와 관련하여 중요한 정보를 제공할 수 있습니다. 두 위상에서 부분 방전이 발생하지만 안정적인 방전을 보이는 이 변압기를 온라인 상태를 유지하면서 추가로 모니터링할 계획입니다.

© OMICRON electronics GmbH

참고문헌

1. CIGRÉ WG D1.29, Technical Brochure 676: Partial Discharges in Transformers

2. IEC 60270: Edition 3.1, 2015, High-voltage test techniques - Partial discharge measurements, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland

3. C57.127 (2007), IEEE Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA, 2007

4. IEC 60599: Edition 3.0, 2015, Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis

저자 정보

Udo Ranninger는 2007년에 OMICRON 전자 부서에서 일하기 시작했습니다. 그는 회사 내에서 여러 직책을 수행한 후, 현재는 부분 방전 측정에 중점을 둔 애플리케이션 엔지니어로 근무하고 있습니다. Udo는 2006년 오스트리아 Rankweil에 위치한 고등 기술 교육 연구원을 졸업했으며 통신 및 고주파 기술을 전공했습니다.

udo.ranninger@omicronenergy.com

Michael Krüger는 1999년부터 오스트리아 클라우스에 위치한 OMICRON Energy에서 근무하고 있습니다. 제품 관리자 및 엔지니어링 서비스 책임자로 일한 후 그는 현재 “ 전력 장비 테스트 및 진단” 컨설팅 엔지니어입니다. 그는 Technical University of Aachen(RWTH), Technical University of Kaiserslautern(독일)에서 전기 공학을 전공했으며 1976년에 졸업했습니다(공학 학위 취득). 1990년 그는 비엔나 공과대학에서 전기공학 박사 학위를 받았습니다.

Michael Krüger는 전력 및 계기 변압기, 회전 전기 기계, 가스 절연 스위치기어(GIS) 및 전력 케이블에 대한 고전압 엔지니어링과 테스트 및 진단 분야에서 40년 이상의 경험을 보유하고 있습니다.

그는 전력 및 계기 변압기, 회전 전기 기계, GIS 및 케이블의 전기 측정에 대한 50편 이상의 기술 문서를 발표했으며 15 개의 특허를 보유하고 있습니다. 그는 40년간 Cigre의 VDE 회원으로 활동하고 있으며 IEEE의 수석 회원입니다. 그는 또한 OEVE, IEC, Cigre 등 여러 워킹 그룹에서도 활동하고 있습니다.

michael.krueger@omicronenergy.com

© OMICRON electronics GmbH

OMICRON 은 혁신적인 테스트 및 진단 솔루션으로 전력 산업에 서비스를 제공하는 국제 기업입니다. OMICRON 제품의 적용으로 사용자는 시스템에 있는 고전압/저전압 설비의 상태를 완벽하게 평가할 수 있습니다. 컨설팅, 커미셔닝, 테스트, 진단 및 교육분야에서 제공되는 서비스는 제품을 보다 완벽하게 만듭니다.

160여 개국의 고객들은 이미 OMICRON의 우수한 품질과 첨단 기술 제품을 선택하였습니다. 모든 대륙에 있는 서비스 센터는 폭넓은 지식 기반과 함께 고객 지원을 제공합니다. 이 모든 것들이 OMICRON을 전력 산업에서 시장 선두주자로 만들었습니다.

자세한 정보, 추가 자료 및 전 세계 사무실의
연락처 정보는 당사 웹사이트를 방문하십시오.

www.omicronenergy.com

2021 년 4 월 발행
Subject to change without notice.