

PCR 데이터셋에 기반한 계전기 상태진단 방법

노태형¹, 목형수[†], 최정일²
 건국대학교¹, 건국대학교[†] (주)무하기술²

SoH Method for Relay Based on PCR Dataset

T. H. Ro¹, H. S. Mok[†], J. I. Choi²
 Konkuk University¹, Konkuk University[†], MUHA InC.²

ABSTRACT

계전기는 다양한 산업 플랜트 및 발전소 제어 설비에서 사용 중인 필수적인 장비이며, 주기적인 기능진단 및 상태 점검을 통한 유지관리가 필요하다. 하지만 운용 현장의 열악한 환경으로 인해 계전기의 고장 및 오동작이 발생하고 있으며, 이는 설비 정지등을 초래하는 문제로 이어지고 있다.

본 논문에서는 계전기의 Run-to-Failure 데이터셋 중 이상적인 계전기 동작 데이터를 레퍼런스 삼아 계전기의 8가지 주요 특성 파라미터인 코일 저항, 코일 인덕턴스, 최소동작전압, 최소복귀전압, 접점저항, 절연저항, 동작시간, 복귀시간을 기준으로 계전기의 현재 상태(State of Health)를 진단하는 방법을 제안한다.

1. 서론

계전기의 원리는 간단하지만 현대 기술 시스템에서 가장 자주 사용되는 장치 중 하나이며 복잡한 자동화 제어 시스템에서 사용되어지는 계전기 수는 수백, 수천개로 추정된다.^[1] 이러한 계전기들은 운용 현장의 열악한 환경으로 인해 고장 및 오동작이 야기되며 사소한 오작동이라도 운용환경의 장비를 멈춰 많은 손실 비용을 초래한다.

이와 같은 상황을 미연에 방지하고자 계전기의 상태를 진단하는 장치가 필요하며 이를 위하여 본 논문에서는 Phoenix Contact사에서 제공한 Phoenix Contact Relay(PCR) 데이터셋을 참고하여 상태진단 SoH(State of Health)를 하는 방법을 고안했다.

2. 상태진단 SoH(State of Health)

2.1 고려된 계전기의 개요

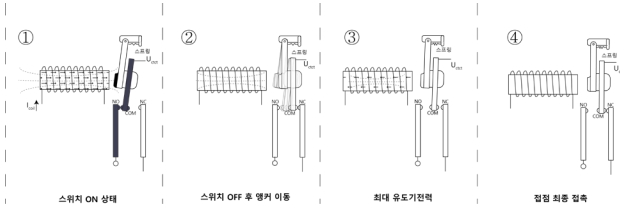


그림 1. 계전기의 동작종료수순 (상시열림포트-NO 기준)
 Fig 1. Order of completion of relay operation(Based on NO)

발전소에서 쓰이는 주요 계전기 중 하나인 DC전원 기반 계전기는 크게 전자석 파트와 부하 파트로 나눌 수 있다. 그림1의 1번부터 4번의 순서대로 1-인가되고 있는 여자전류 I_{coil} 차단, 2-전자석의 자화가 풀려 당겨져 있던 앵커가 원래 위치로 돌아감, 3-최대 유도기 전력 발생 4-COM이 NC(Nomally Close) 접점으로 붙음으로 전자석 파트에 동작이 완료된다.

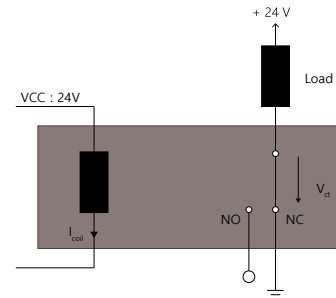


그림 2. 계전기의 구성요소와 계측된 파라미터
 Fig 2. Components of the relay and the measured parameters

2.2 레퍼런스 데이터

Phoenix Contact사 1923년 독일에서 시작한 이 회사는 터미널 블록, 계전기, 컨트롤러 및 PLC와 산업용 이더넷 등 산업 플랜트에 주로 사용되는 제품을 생산하는 회사로써 긴 연혁과 제품의 신뢰성을 보증할 수 있는 회사이다. 현 회사의 제품을 가지고 Fabian. W은 계전기의 정상상태부터 고장임박 상태(Run

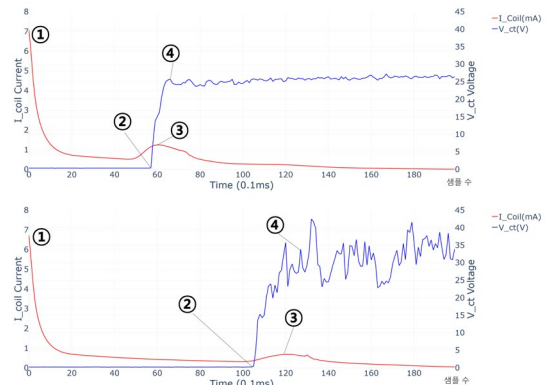


그림 2. 계전기가 정상(위) 및 고장 임박(아래)일 때 스위치 OFF 시 계전기의 여자전류(I_{coil})와 접점저항(V_{ct}) 과도해석 그래프
 Fig 2. Transient analysis graph of Exciting Current(I_{coil}) and contact resistance (V_{ct}) of the switch-OFF relay when the relay is normal (top) and near failure (bottom)

-to-Failure) 점접전압과 코일전류를 기록한 PCR 데이터 셋을 구축하였고 데이터셋 경쟁대회 플랫폼인 Kaggle에 배포하였다. 데이터 셋은 계전기의 전원 인가 및 차단을 한 주기로 잡아 10kHz 샘플링으로 20ms동안의 I_{coil} 과 V_{ct} 를 기록한 2차원 데이터로 총 546개의 계전기의 데이터가 구성 되어있다.

데이터 셋 중 계전기의 이상적인 열화 과정을 보여주는 106번 데이터를 기반으로 그림2와 같이 정상상태와 고장임박 상태의 그래프를 만들어 비교하였다. 그림 1의 동작원리대로 그래프 추이를 확인할 수 있으며, 그래프를 통해 코일 인덕턴스, 동작 시간 등이 영향이 있다는 것을 확인하게 알 수 있다.

최대전류 I_{max}

$$I_{max} = \frac{V}{R} \quad (1)$$

시간 상수 τ 를 구하기 위해서 시간 t 일때 전류를 사용한다.

$$I(t) = I_{max}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2)$$

인덕턴스 L 은 시간 상수와 저항의 곱으로 구한다.

$$L = \tau \cdot R \quad (3)$$

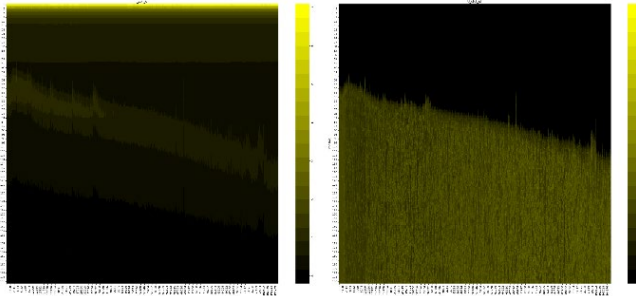


그림 3. Run-to-Failure의 I_{coil} (여자전류, 왼쪽) V_{ct} (접전전압, 오른쪽)의 추이

Fig 3. I_{coil} (Exciting current, left) V_{ct} (contact voltage, right) of Run-to-Failure Trend

그림3은 106번 데이터의 전원 차단 시 I_{coil} 과 V_{ct} 를 히트맵 이미지로 나타내었다. Y축은 위에서 아래로 0 ~ 20 ms까지 시계열로 구성되어 있으며 총 200개의 행과, X축은 첫 정상상태를 0부터 시작하여 고장 임박상태인 106409까지 총 106410 주기의 열 데이터로 구성되어 있다. I_{coil} 크기의 경우 열화 되어가면서 차단 후 발생하는 유도전류가 점점 늦게 발생하는 것을 확인할 수 있다. V_{ct} 의 경우는 주기가 진행되어 가면서 I_{coil} 의 전원 차단 후 계전기의 COM과 NC 부분의 최종접촉이 늦어지면서 접점이 조금씩 늦게 통전되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 계전기 사용횟수에 따라 off 시 복귀시간이 점점 늦어지는 것을 데이터셋을 통해 직관적으로 확인할 수 있다.

이러한 데이터를 기반으로 코일 인덕턴스의 수치를 계산할 수 있다. 그림1-3와 같이 최대 인덕턴스가 데이터를 기반으로 계측을 하면 정상 상태에서는 약 6.25ms, 고장 임박 상태에서 약 12.1ms 때 발생한다. (1)-(3)과 같은 방정식을 사용해서 시계열에 따른 인덕턴스를 구할 수가 있다.

표 1 모델링에 사용되는 파라미터

Table 1 Parameters used for modeling

Parameter		정상 상태	고장 임박 상태
l_{coil}	코일의 인덕턴스[H]	16.56	31.97
r_{coil}	코일의 저항[Ω]	1,440	1,440
v_{pull}	최소 동작 전압 [V]	15.6	15.6
v_{drop}	최소 복귀 전압 [V]	3.6	3.6
r_{on}	점접 저항 [Ω]	0.1	0.1
r_{off}	절연 저항 [Ω]	Basic Insulation Level	Basic Insulation Level
t_{dbrk}	동작 시간 [ms]	5	5.5
t_{dmk}	복귀 시간 [ms]	5.5	10.5

2.3 계전기의 SoH 진단

현재 변화량이 뚜렷한 코일의 인덕턴스와, 동작시간을 기준으로 정상상태일때(1) 100%, 고장임박 상태(2)를 0%로 치환하면 다음과 같이 된다.

인덕턴스 파라미터 기반 퍼센테이지

$$P_L = \frac{L_{present} - L_{(2)}}{L_{(1)} - L_{(2)}} \times 100 \quad (4)$$

동작시간 파라미터 기반 퍼센테이지

$$P_t = \frac{t_{(2)} - t_{present}}{t_{(2)} - t_{(1)}} \times 100 \quad (5)$$

최종 SoH

$$P_{SoH} = \frac{P_L + P_t}{2} \quad (6)$$

여기서 n 은 SoH를 계산하기 위해 사용된 파라미터 종류의 개수이다.

3. 결론

본 논문은 PCR 데이터셋 중 이상적인 결과를 가지고 타 파라미터를 추정하였다. 주기 데이터 상에서는 전원 차단시 계측된 데이터 뿐만 아니라 전원인가시 여자전류, 점접전압 데이터 또한 같이 제공하고 있으므로 데이터를 추가하여 SoH 추정을 신뢰할 수 있는 근거 데이터로 추가할 예정이다. 현 SoH 추정 알고리즘은 간단한 방정식으로 되어있지만 파라미터 사이의 우선순위를 정해야 할 것으로 판단된다. 또한 본 논문에서 사용한 PCR 데이터는 Phoenix Contact사에 일부 계전기 모델에만 적용됨으로 현재 계전기 상태진단기술 적용이 필요한 발전소 등 산업현장에서 주로 사용하는 계전기에도 해당 진단기술을 적용해야 할 연구가 남아 있다.

이 논문은 발전5사 중소기업지원 협력연구개발사업
연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Gurevich, V. Electric Relays: Principles and Applications., Available at ResearchGate, xix, preface. 2016.
- [2] Fabian Winkel, Run-to-Failure Relay Dataset for Predictive Maintenance Research with Machine Learning. IEEE Transactions on Reliability, 106-110. 2024