

유니버설 모터 성능의 온·라인 모니터링을 위한 가상계측시스템 구현

장석명, 이성호, 조한욱, 조성국, 김영관*, 김덕진*
 충남대학교 전기공학과, LG전자 디지털 어플라이언스 연구소*

Realization of the Virtual Instrumentation System for On-Line Monitoring the Performance of Universal Motor

S. M. Jang, S. H. Lee, H. W. Cho, S. K. Cho, Y. K. Kim*, D. J. Kim*
 Chungnam Nat'l Univ., LG Electronics Inc.*

Abstract - This paper presents a virtual instrumentation (VI) system for on-line monitoring the performance of universal motor. The VI is designed using the graphical programming language LabVIEW and is capable of performing real time measurement functions, including data acquisition, display, and analyses in the time and frequency domains, as well as data archiving. The electrical quantities and the mechanical quantities on the performance of universal motor monitored by the proposed system are reported.

1. 서 론

기존의 모터 성능 모니터링 법은 동력계와 같은 별도의 계측기기를 이용하거나, 힘측정 센서의 신호를 계측기에서 읽어들이고, 데이터를 GPIB 인터페이스 또는 시리얼 통신을 통해 PC에서 수집하여 처리 및 디스플레이를 하는 과정으로 오프라인으로 이루어졌다. 또한 DSP나 다른 프로세서를 이용한 실시간 모니터링 시스템은 하드웨어 구성 및 프로그래밍에 많은 시간이 소요된다[1]. 특히, 중저속으로 운전되는 회전형 기기의 토크는 일반적으로 동력계 등을 이용하여 측정을 하나, 고속으로 운전되는 회전형 기기는 고속 운전에 따른 토크 측정에 적합하도록 고가의 동력계를 별도로 제작 및 구성하여 측정을 하여야만 한다. 그러므로 고가의 동력계를 이용한 측정 시스템이 아닌, 고속용 회전기기의 성능에서 가장 중요한 요소인, 토크 및 효율을 실시간 모니터링하는 방법이 절실히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 동력계에 의존하지 않으면서, 고속으로 회전하는 회전기기의 실시간 성능 모니터링을 할 수 있는 가상 계측시스템을 소프트웨어적으로 구현하여, 이를 유니버설 모터의 성능 모니터링에 적용하였다.

2. 유니버설 모터 성능 모니터링을 위한 기본 이론

유니버설 모터는 단상 직권 전동기로서 교류전원과 직류전원 어느 것으로도 동작하는 모터이다. 그림 1은 계자, 전기자, 정류자 및 브러시로 구성되는 유니버설 모터의 등가회로이다.

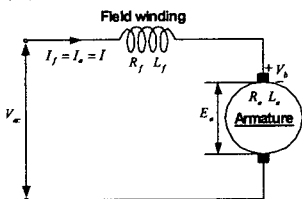


그림 1 유니버설 모터의 등가회로

2.1 기본 특성방정식

1) 전기자 권선에서의 유기기전력 및 토크 특성식
 그림 1의 전기자 권선에서 유도되는 기전력은 식 (1)로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_a &= B \times L \times v_a \times \frac{z}{2a} \\
 &= B \times L \times \frac{\pi DN}{60} \times \frac{z}{2a} \\
 &= \frac{2pz}{2a} \times \phi \times \frac{N}{60} \\
 &= k_e \times \phi \times N
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, L은 전기자 도체의 유효길이, v_a는 전기자 도체의 이동속도, 2p는 극수, z는 전기자 유효 도체수, 2a는 전기자 병렬 회로수, k_e = pz/60a이다.

식 (1)을 이용한, 유니버설 모터의 전자기적 토크는 식 (2)로 계산된다.

$$T_{em} = 9.55 k_e \phi I_a \tag{2}$$

2) 출력 및 효율

식 (1)을 이용한 모터의 출력 특성식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 P &= E_a \times I_a \\
 &= \frac{2pz}{2a} \times \phi \times \frac{N}{60} \times I_a \\
 &= k_e \times \phi \times N \times I_a
 \end{aligned} \tag{3}$$

그림 2는 유니버설 모터의 에너지 흐름도를 도시한 것이며, 입력 P_in 과 출력 전달되는 기계적 출력 P_out은 회전속도 (rpm)을 변수로 하여, 식 (4)로 각각 계산된다.

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_{ac} I_a \cos \theta \\
 P_{out} &= \tau_{app} \omega_m = \tau_{app} \cdot N / 9.55
 \end{aligned} \tag{4}$$

그러므로, 효율은 식 (5)로 산출될 수 있다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \tag{5}$$

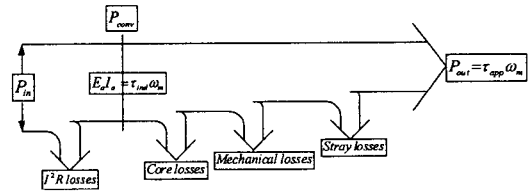


그림 2 에너지 흐름도

2.2 전기적 특성 모니터링을 위한 이론

인가 전압과 전류의 순서적인 아날로그 신호에 대한 실효치는 식 (6)에 의해 각각 연산된다

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V^2(i)} \quad (6)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I^2(i)}$$

여기서, n 은 한주기동안 샘플링 된 데이터의 수이다. 식 (6)으로 구해진 전압 및 전류 실효치에 의해 피상전력은 식 (7)로 계산된다.

$$VA = V_{rms} \times I_{rms} \quad (7)$$

순시적인 전압, 전류에 의해 유효전력은 식 (8)로 구해진다.

$$Watts = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V(i) \cdot I(i) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 이용하여 무효전력은 식 (9)에 의해, 역율은 식 (10)에 의해 각각 연산된다.

$$VAr = \sqrt{VA^2 - Watts^2} \quad (9)$$

$$pf = \frac{Watts}{VA} \quad (10)$$

또한, 전압 또는 전류의 순시적인 아날로그 신호는 식 (11)로 표현되는 이산 푸리에 변환(DFT)에 의해 주파수 성분 분석이 이루어진다.

$$X_k = \sum_{i=0}^{n-1} x_i e^{-j2\pi k i/n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (11)$$

$$X_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} X_k e^{-j2\pi k i/n} \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

여기서, n 은 주파수 영역과 시간영역 모두에서의 샘플링 수이다.

3. 제안된 성능 모니터링을 위한 프로그램 및 시스템 구성

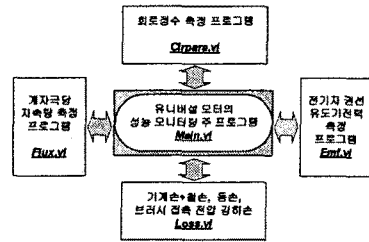
1) 프로그램

그림 3(a)는 성능 모니터링에 필요한 데이터들을 획득하기 위한 프로그램 구성도이다. 주 프로그램은 회로정수 측정 프로그램, Cirpara.vi, 손실측정 프로그램, Loss.vi, 자속량 측정 프로그램, Flux.vi 및 유도 기전력 측정 프로그램, Emf.vi와 상호 연계되도록 구성하였다. 그림 3(b)는 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구현한 프로그램 블록 다이어그램을 도시한 것이다. 그림 3(b)에서 도시된 블록 다이어그램을 하나의 VI라 칭하며, 블록 다이어그램내의 각각의 아이콘들은 또 다른 VI들로 구성된다.

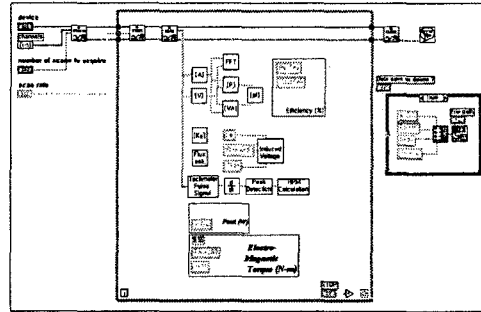
모터의 성능을 실시간 모니터링 하기 위해, 전기적인 양과 기계적인 양이 동시에 모니터링 되도록 프로그래밍 하였다. 전기적인 양인 실효치 전압, 전류 및 피상전력, 유효전력, 역율은 각각 식 (6)에서 식 (10)을 이용하여 연산되며, 식 (11)을 이용한 이산 푸리에 변환을 통해 주파수 성분 분석이 가능하도록 프로그래밍 하였다. 전자기적 토크 및 효율은 식 (2)와 식 (5)에 의해 각각 연산되며, 전자기 노이즈의 영향에 강인하도록, 회전수는 타코미터의 출력펄스 신호를 미분한 후, 피크치를 검출하여 산출되도록 하였다. 또한 획득된 데이터들은 사용자의 의도에 따라 저장 및 삭제가 가능하다.

2) 시스템 구성

그림 4는 유니버설 모터 성능 실시간 모니터링 시스템의 전체 구성도 및 사진을 보인다. 구현된 모니터링 시스템은 CT/PT를 포함한 시그널 컨디셔너, 속도 측정을 위한 타코미터, PCMCIA 카드, LabVIEW 소프트웨어, 노트북 및 모니터링 시스템의 전기량 측정결과를 검증하기 위한 전력분석기 PM3300으로 구성된다.



(a)



(b)

그림 3 프로그램 구성도 (a) 및 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구성한 모니터링 프로그램, Main.vi 블록도 (b)

구현된 모니터링 시스템으로부터 그림 4에서 보여지듯이, 유니버설 모터의 성능에 관련된 파라미터인 전류, 전압 실효치 및 파형, 역율, 입력전력, 속도, 전자기적 토크와 회로정수에 해당하는 권선저항, 인덕턴스 및 각 손실과 효율이 온라인 모니터링 된다.

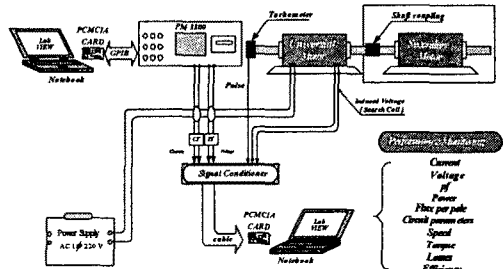


그림 4 제안된 모터 성능 모니터링 시스템

4. 성능 모니터링 및 모터 특성 측정결과

4.1 성능 모니터링 결과

그림 5는 유니버설 모터의 성능을 실시간 온라인 모니터링 하기 위해 구현한 패널을 보인다. 전기적인 양과 기계적인 양을 각각 분리하여, 측정된 결과가 수치적으로 도시되도록 구성하였으며, 또한 전압, 전류, 전자기적 토크, 회전수 등은 그래픽적으로 도시된다. 또한, 푸리에 변환을 통해 주파수 성분 분석결과가 수치 및 바 그래프로 도시된다. 그림 5에 도시된 출력은 전자기적 출력이며, k_e 는 식 (1)의 관계에 의해 도시된 유효기전력, 극당 자속, 회전수에 의해 산출된 값이고, 전기자 총 유효도체 수 z 는 시험대상 모터의 전기자 슬롯수, 코일수, 코일당 턴수, 병렬회로수에 의해 산출된 값이다. 그림 5에서 획득된 결과들은 스위치를 작동시켜, 미리 셋팅된 전압을 인가함으로써 모터의 기동시에서 정상상태까지 모니터링 된 데이터들을 도시한 것이다.

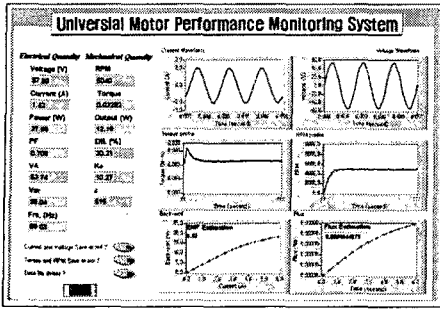


그림 5 실시간 모니터링 된 데이터들이 도시되도록 구현한 패널

4.2 모터 특성 측정결과

1) 브러시 접촉 전압강하

그림 6은 정류자 면에 축척을 접속시켜 브러시와 정류자면 수점 간에 전압을 인가하여 전압과 전류를 측정 후, 평균을 구한 브러시 접촉 전압강하 측정결과를 도시한 것이다.

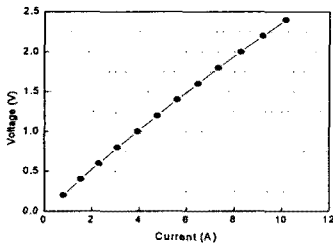


그림 6 브러시 접촉 전압강하 측정결과

2) 저항 및 인덕턴스

그림 7은 스텝응답으로부터 권선저항 및 인덕턴스 측정을 위한 모니터링 시스템 동작과 측정 결과를 도시하기 위해 구성한 패널이다.

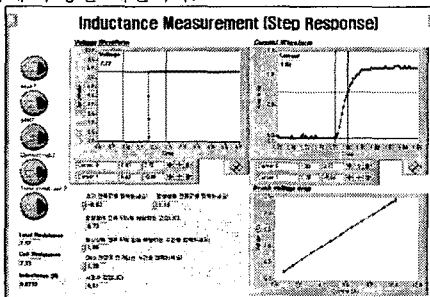


그림 7 스텝응답 및 권선저항, 인덕턴스 측정을 위해 구성한 패널

3) 기계손+철손

그림 8은 기계손+철손 측정을 위해 구성한 패널이다. 인가전류, 전압의 실효치 및 순시파형, 브러시 접촉 전압강하, 입력전력 및 모터 회전수에 대한 기계손+철손이 그래픽적으로 도시된다.

4) 계자 극당 자속량

그림 9는 계자 극당 자속량 측정을 위해 구성한 패널이다. 계자코일에 인가된 여자전류의 실효치 및 순시파형, 서치코일에 유도된 전압, 인가 여자전류에 대한 자속량 곡선 및 자속량 측정 시험이 끝난 후, 측정결과를 fitting한 그래프가 도시된다.

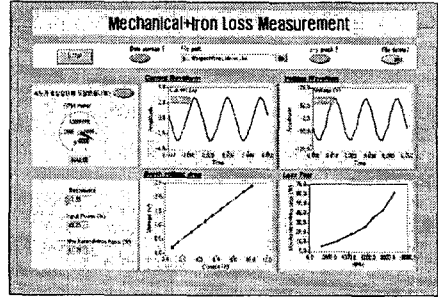


그림 8 기계손+철손 측정을 위해 구성한 패널

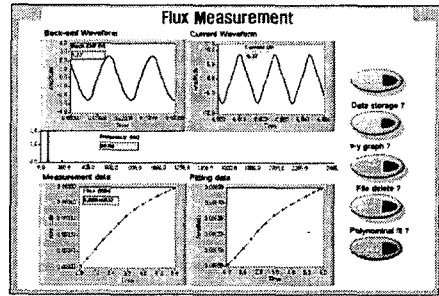


그림 9 계자 자속량 측정을 위해 구성한 패널

5) 전기자 유도기전력 측정

그림 10은 식 (1)을 이용하여 인가전류에 대한 전기자 유도기전력을 측정한 결과이다.

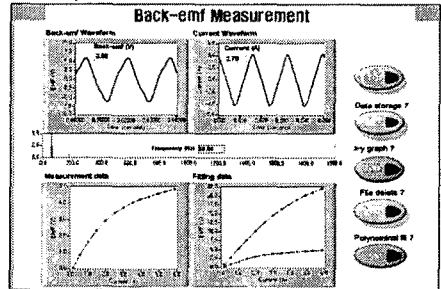


그림 10 전기자 코일에서의 역기전력 측정을 위해 구성한 패널

5. 결 론

본 논문은 운전특성 모니터링이 용이하고, 온라인으로 측정, 시험 할 수 있는 유니버설 모터 성능 모니터링 시스템을 구현 및 제시하였다. 제안된 모니터링 시스템은 모터 성능에 관한 전기량 및 기계량을 동시에 실시간으로 수집, 처리, 디스플레이, 저장할 수 있다. 또한, 소프트웨어적인 프로그램을 성능 모니터링이 요구되는 시험 대상 모터에 적합하게 보완 및 수정하면, 각종 모터의 성능시험에 호환적으로 적용 가능할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 장석명, 이성호, 장건우, 정상섭, "유도형 리니어모터 성능의 온라인 모니터링을 위한 가상계측시스템 구현", 대한 전기학회 논문지, 5호, 제 50권, pp. 205-213, 2001.
- [2] K. Thara and T. Abe, "Constants measurement characteristics calculation of universal motor RM-97-24, pp. 105-109.