

지능형 서지카운터의 설계 및 제작

김일권* · 송재용* · 문승보* · 길경석*

* 한국해양대학교 전기전자공학부

Design and Fabrication of an Intelligent Surge Counter

Il-Kwon Kim, Jae-Yong Song*, Seung-Bo Moon*, Gyung-Suk Kil**

Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 피뢰기 접지선에 설치되는 기존의 서지카운터는 단순히 서지 발생여부만을 측정하므로 서지전류에 대한 충분한 정보를 제공하지 못하고 있다. 피뢰기의 상태 평가에 있어서 서지전류에 대한 정보는 중요한 요소이고, 정확한 진단을 위해서는 서지전류의 극성, 크기, 발생일시 등 다양한 정보가 요구된다. 본 논문에서는 상기 정보에 대한 정확한 측정을 위하여 마이크로프로세서 기반의 지능형 서지카운터를 설계·제작하였다. 제안한 서지카운터는 8 비트의 마이크로프로세서, 샘플/홀드 회로, RTC(real-time-clock), 휘발성 메모리로 구성된다. 서지전류에 대한 모든 정보는 내장 메모리에 기록되고, RS-232 직렬통신방식을 통해 개인용 컴퓨터로 전송된다.

핵심용어 : 서지전류, 피뢰기, 지능형 서지 카운터, 샘플/홀드 회로, 휘발성 메모리

ABSTRACT : A conventional surge counter set in grounding wire of a lightning arrester measures only surge occurrence, and do not provide enough data on surge current. Information on surge current is important to estimate arrester deterioration, and parameters like the amplitude, the polarity and the occurred time of surge current are required for more precise diagnosis. In this paper, we designed and fabricated an intelligent surge counter based on a microprocessor technology, which measures the parameters mentioned above. The surge counter consists of an exclusive sample and peak-hold (S/H), a real-time-clock (RTC), an EEPROM, and a 8-bit microprocessor. All the acquired data are saved on the EEPROM, and are transmitted to a personal computer by a serial communication protocol.

KEY WORDS : surge current, lightning arrester, intelligent surge counter, sample and peak-hold, RTC, EEPROM

* hvlab@hhu.ac.kr.
* kilgs@hhu.ac.kr
* hvkwon@shinbiro.com
* hvparan@hhu.ac.kr
* chl0919@nate.com

1. 서 론

피뢰기는 뇌서지, 개폐 서지 및 과도과전압 등과 같은 계통에서 발생하는 일시적 이상전압을 흡수, 대지로 방출함으로써 선로의 전압을 피보호기기의 절연레벨 이하로 유지시키는 중요한 보호소자이다[1][2]. 1980년 중반 이후 개발된 산화아연(ZnO)형 피뢰기는 종래의 탄화규소(SiC)형에 비해 보호능력 및 신뢰성이 크게 향상되었으며, 현재까지 대부분의 전력설비에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 복잡한 부하설비가 연계된 송·변전 및 배전 계통에는 이상전압의 발생빈도가 해마다 급증하고 있다. 빈번한 보호동작으로 인한 피뢰기는 점차 열화가 진전되며, 이를 계속해서 방치할 경우, 결국 열폭주(thermal runaway) 단계를 거치면서 단락 또는 지락사고를 발생시키게 된다[3]-[5]. 그러므로 이러한 사고를 예방하기 위한 많은 연구가 진행되었으며, 피뢰기 기술규격에 서지의 유입을 계수할 수 있는 서지카운터를 설치하도록 규정하고 있다[6][7]. 그러나 이는 일정 크기 이상의 방전전류를 갖는 서지의 유입 횟수만을 기록하므로 이러한 정보로는 실제 피뢰기를 관리함에 있어 충분한 정보를 제공하지 못한다. 특히 최근에는 정보통신기술을 접목하여 실시간으로 운전, 제어 및 감시가 가능한 지능형 관리 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 전력산업의 효율적 운용을 위하여 각 설비에 대한 다양한 정보를 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 피뢰기 관리의 효율성 및 신뢰성을 향상시키기 위하여, 서지의 발생일시, 방전전류의 크기 및 극성, 동작횟수 등을 검출할 수 있는 지능형 서지카운터를 설계·제작하였다. 이는 변류기, 트리거 회로, 샘플/홀드 회로 및 원칩 마이크로프로세서로 구성되며, 별도의 비휘발성 메모리에 유입된 서지 정보를 저장하

며, RS-232 통신을 이용하여 원격의 PC로 전송할 수 있다.

2. 서지카운터의 설계

2.1 기존의 서지카운터

서지카운터는 피뢰기의 접지선에 관통형 변류기 또는 막대형 자극을 설치하며, 일정 크기 이상의 방전전류가 접지선을 통하여 흐를 때 검출코일에 유입된 전압을 이용하여 서지 유입 횟수를 계수한다.

Fig. 1은 일반적인 전류 구동형 서지카운터의 구성을 나타낸 것으로, 변류기에 유입된 기전력을 정류회로를 통하여 직류로 변환하며, 이를 전자력(electromagnetic force) 카운터의 구동전원으로 이용하는 방식이다. 이는 전자유도작용에 의해 서지전류를 검출하고 카운터를 동작시키므로 피측정회로에 영향을 주지 않고 안정적으로 서지를 계수할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 설계시 미리 정해놓은 값 이상의 전류에서만 동작하므로 피뢰기 열화의 직접적인 원인인 서지의 극성, 크기 및 발생빈도와 같은 정보는 얻을 수 없는 단점을 가지고 있다.

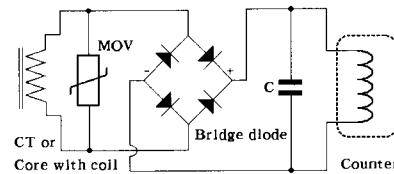
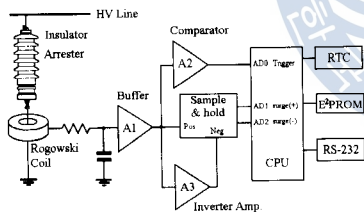


Fig. 1 Configuration of a current-drive type surge counter

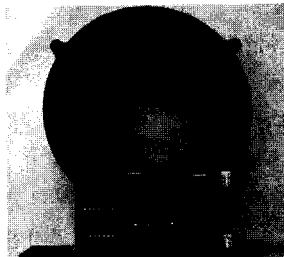
2.2 제안한 서지카운터의 기본 구성

일반적으로 서지전류는 수 ~ 수 십 μ s 동안 발생하며, 이를 실시간으로 측정하여 파형에 대한 정보를 얻기 위해서는 10 MS/s 이상의

고속 샘플링 동작을 하는 고가의 A/D 컨버터와 복잡한 주변회로가 필요하다. 서지전류 파형의 기록이 가능한 전력분석기를 제외하면 종래의 상용 서지카운터는 단순히 설정 레벨이상의 서지전류의 발생만을 검출할 수 있으며, 응답속도가 매우 느리기 때문에 약 5 ms 이하의 간격으로 반복되는 서지에 대하여 계수하지 못하는 경우도 있다. 따라서 종래의 서지카운터가 갖는 단점을 보완하고, 피뢰기 관리의 효율성과 신뢰성을 향상시키기 위해서는 서지의 발생빈도, 방전전류의 크기 및 극성 등을 분석할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 구성의 지능형 서지카운터를 설계·제작하였으며, 범용의 샘플/홀드(Sample/Hold) IC, 8bit 원칩 마이크로프로세서 및 이에 내장된 저속의 A/D 컨버터를 이용하여 서지전류의 다양한 정보를 측정하였다.



(a) Schematic diagram



(b) Photograph

Fig. 2 Schematics and photograph of the intelligent surge counter

2.3 로고스키 코일 설계

일반적으로 피뢰기에 유입되는 서지전류를 계수하기 위해서는 변류기(Current Transformer)를 사용하지만, 본 연구에서와 같이 수 kA의 최대값을 갖는 서지전류의 크기를 측정하기 위해서는 포화특성이 없는 로고스키 코일(Rogowski coil)을 이용한다. 이는 기존의 변류기와는 달리 공심을 이용한 것으로, 측정할 수 있는 전류의 범위에 제한을 받지 않으며 수 백 MHz의 주파수 성분도 검출할 수 있다.

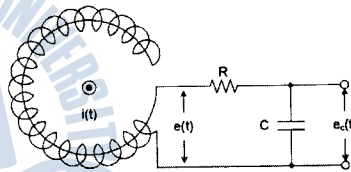


Fig. 3 Equivalent circuit of the Rogowski coil

$$e_c(t) = -\frac{nA}{RC} \frac{4\pi \times 10^{-7}}{\pi D} i(t) \quad [V] \quad (1)$$

Fig. 3은 로고스키 코일을 이용한 서지전류의 검출회로를 나타낸 것으로, 유기된 전압 $e(t)$ 를 RC 적분하고, 식(1)을 적용하여 피뢰기에 유입된 전류 $i(t)$ 를 산출한다. 여기서, n 은 코일의 권수, A 는 피측정전류의 자속과 쇄교하는 로고스키 코일의 단면적, D 는 로고스키 코일의 직경이다. Fig. 4는 제작한 로고스키 코일의 사진을 나타내며, 100 A - 5kA의 전류를 검출하기 위하여 코일의 권수를 30회, 단면적을 160 mm^2 및 직경을 115 mm로 설계하였다.

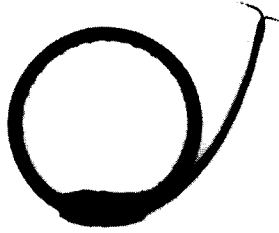


Fig. 4 Photograph of the Rogowski coil

2.4 서지전류의 검출 및 극성 판별

제안한 서지카운터는 로고스키 코일, 트리거 회로, 샘플/홀드 및 마이크로프로세서(ATmega 8L)로 구성하였다. Fig. 5와 같이 비교기를 이용한 트리거 회로는 서지전류를 검출한 후 펄스전압을 마이크로프로세서로 전송한다. 샘플/홀드 회로는 출력전압을 샘플 상태에서 읽고 서지전류의 최대값을 홀드 상태로 유지한다. 이 시간동안 마이크로프로세서는 A/D 컨버터를 통하여 서지전류의 크기를 측정하고, 내장 메모리에 저장한다. 일련의 측정이 완료되면 마이크로프로세서는 샘플/홀드 회로를 초기화하고 측정 대기상태를 유지한다. 이처럼 제안한 회로는 샘플/홀드 회로를 이용하여 저속의 A/D 컨버터로도 서지전류의 최대값을 검출할 수 있다. 그러나 만약 홀드 시간을 길게 설정하면 다중의 서지전류가 유입될 경우, 연속으로 서지전류의 크기를 검출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

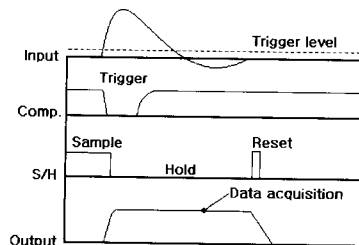


Fig. 5 Operating sequence of the surge counter

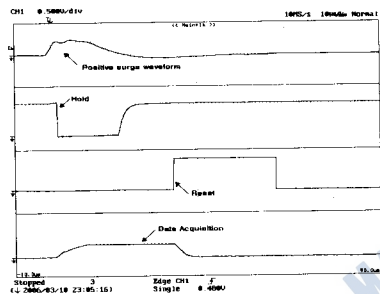
따라서 서지카운터의 설계시 검출하려는 서지전류의 발생 주기를 고려하여 홀드 시간과 데이터 취득시간을 설정해야 한다. 본 연구에서는 단일 및 다중 서지전류의 발생 주기를 고려하여 최소 $100\ \mu\text{s}$ 이내에 신호처리를 완료하도록 설계하였다. 또한 개폐서지전류에 대해 반복동작을 하지 않도록 서지전류의 크기가 0인 지점에서 변화할 경우만 트리거 동작을 하도록 하였다. 마이크로프로세서의 A/D 컨버터는 정극성만을 측정하므로 서지전류의 극성을 판별하기 위해서 반전회로를 이용한 부극성 입력회로를 추가하였다. 따라서 로고스키 코일을 통하여 어떠한 신호가 입력되더라도 극성에 상관없이 크기를 검출할 수 있으며, 최대값으로부터 극성을 판별할 수 있다. 또한 제안한 서지카운터는 RTC(Real Time Clock)회로를 적용하여 서지의 발생시각과 함께 내장된 메모리에 기록되며, 저장된 정보는 RS-232 포트를 통하여 원격의 PC로 전송한다.

3. 특성 평가

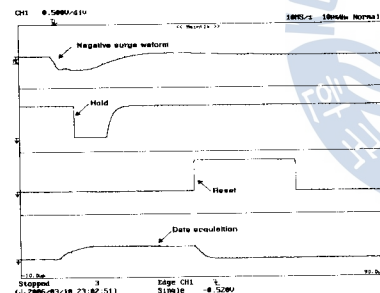
제작한 지능형 서지카운터의 검출특성을 평가하기 위해 서지발생장치(PSURGE4010, HAEFLY)를 이용하여 로고스키 코일에 정극성 및 부극성의 $8/20\ \mu\text{s}$ 표준뇌충격전류를 인가하였다. Fig. 6은 정극성 및 부극성의 서지전류에 대한 각 회로의 출력 파형을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 정극성 서지전류의 유입 후, 트리거 신호가 발생하기 까지 약 $1.5\ \mu\text{s}$ 정도가 소요되었으며, 부극성의 경우 반전회로에 의한 약 $3\ \mu\text{s}$ 의 지연시간이 발생하여 약 $5\ \mu\text{s}$ 정도가 소요되었다.

부극성 서지전류를 지연시간 없이 측정하기 위해서는 양극성을 검출할 수 있는 고가의 A/D 컨버터와 양극성 전원이 필요하게

된다. 그러나 제안한 지능형 서지카운터는 Fig. 6에서와 같이 부극성의 서지전류를 검출하는 데 최대 80~90 μ s 정도가 소요되므로, 약 100 μ s로 반복되는 다중 서지전류를 검출할 수 있으며, 이러한 특성은 종래의 서지카운터가 갖는 단점을 보완하고 검출특성을 크게 개선하였다.



(a) Positive



(b) Negative

Fig. 6 Measured waveforms of surge current

Fig. 7은 서지발생장치를 이용하여 임의로 서지전류를 발생시킨 후, 서지카운터의 내장 메모리에 저장된 데이터를 원격의 PC로 전송한 예를 나타낸 것이다. 이 데이터는 서지전류의 유입시간 및 크기를 나타내고 있으며, 유입된 서지전류의 극성은 절대값이 큰 데이터로 판별할 수 있다.

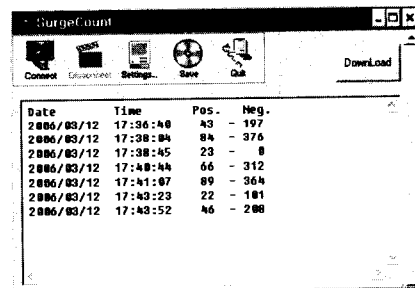


Fig. 7 A screen of monitoring program

5. 결 론

본 연구는 일정크기 이상의 서지전류에 대해서만 유입횟수를 계수하는 종래의 서지카운터를 개선하였으며, 서지전류의 크기 및 극성, 발생시간 등을 검출할 수 있는 지능형 서지카운터를 설계·제작하였다.

제안한 서지카운터는 로고스키 코일을 이용하여 100 A ~ 5kA의 범위의 서지전류를 검출할 수 있으며, 비교기, 샘플/홀드 회로 및 마이크로프로세서를 이용하여 정극성 및 부극성의 극성 판별과 100 μ s의 간격을 갖는 다중 서지전류를 측정할 수 있음을 확인하였다. 또한 이러한 서지전류에 대한 정보는 시간정보와 함께 내부 메모리에 저장된 후, RS-232 통신을 통하여 원격의 PC로 전송할 수 있다.

본 지능형 서지카운터를 실제 전력계통에 적용한다면, 피뢰기로 침입하는 서지전류에 대한 다양한 정보를 원격의 관리자에게 전송할 수 있으며, 향후 이러한 데이터를 DB로 저장한 후 피뢰기 관리를 위한 전문가 시스템과 연계한다면, 피뢰기의 상태 진단에 있어 효율성과 신뢰성을 크게 향상시킬 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Mazen Abdel-Salam et al., High-Voltage Engineering Theory and Practice, pp.447~453, 2003.
- [2] W.C.Hart, E.W.Malone, Lightning and Lightning Protection, pp.1.1~2.15, 1998
- [3] IEC 60099-4, Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, International Electrotechnical Commission, pp.61~77, 2003
- [4] Peter Hassel, Overvoltage protection of low-voltage systems, The Institution of Electrical Engineers, pp.67~125, 2004.
- [5] P. P. Barker et al., "Characteristics of Lightning Surge Measured at Metal Oxide Distribution Arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, No.1, pp.301~310, 1993.
- [6] T. K. Gupta, "Application of zinc oxide varistors", Journal of the American Ceramic Society, Vol.73, No.7, pp.1817~1840, 1990.
- [7] A.Haddad et al., "An Improved non-inductive impulse voltage measurement technique for ZnO surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.2, pp.778~785, 1995.

원고접수일 : 2007년 1월 9일

원고채택일 : 2007년 1월 19일