

마이크로프로세서를 이용한 전자식 배전반 개발

변영복 조기연 구헌회 김종수

(한국전기연구소 전력전자연구실)

A Development of the Digital Switchgear using the Microprocessor

Young-Bok Byun, Ki-Youn Joe, Heun-Hoi Koo, Jong-Soo Kim

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

A microprocessor-based multi-function switchgear for the protection, measurement and control of the power system is presented. For the extraction of the RMS values of the fundamental components of current and voltage signals, a simple digital filter based on cross-correlation of the distorted signal with even and odd heptagonal waves is used. The frequency response of this filter is almost identical to that of the filter based on the discrete fourier transform, while its computational requirement is far less.

For the time delay element relaying, a new log-table based relaying algorithm is suggested. The suggested use of the heptagonal wave cross-correlation digital filter algorithm and a new relaying algorithm reduce the computational needs so drastically that all functions of the switchgear can be implemented on the microprocessor system.

Real time testing of the implemented laboratory prototype show good practical response under different operating conditions.

I. 서 론

배전반은 전기적 사고로부터 부하를 보호하고 원활한 전력 수급을 위해서 계측, 보호, 제어등의 기능을 수행한다. 따라서 배전반은 각종 계전기와 계측기를 실장하고 있으며 개폐기와 복잡한 교류 및 제어용 전선으로 구성되어 있으므로 전력수급 규모와 안전성에 대한 요구가 증대됨에 따라 복잡, 대형화 되었다.

본 연구에서는 마이크로프로세서에 의해 운용되는 단일 제어장치에 의해 배전반에 필요한 모든 기능이 수행되는 전자식 배전반을 개발하여 배전반의 고기능화, 다기능화, 소형화를 추구하였다.

전자식 배전반의 성능은 디지털 필터와 디지털 보호계전에 필요한 알고리즘의 연산시간과 정확도에 의해 결정된다. DC 및 고조파 성분이 제거된 전압, 전류 신호의 기본파 성분을 추출하기 위하여 Heptagonal Cross-Correlation Digital Filter Algorithm을 이용한다. 이 필터는 Discrete Fourier Transform Filter에 비해 주파수 특성은 거의 같으면서도 연산시간이 작은 장점이 있다. 한시 요소 디지털 보호계전을 위해서는 새로운 Log-Table Based Digital Relaying Algorithm을 제시한다.

제 2장과 3장에서는 각각 디지털 필터와 디지털 보호 계전 알고리즘에 대하여 논하고 제 4장에서는 본 시스템의 구성과 기능을 기술한다. 제 5장에서는 특성 시험을 통하여 디지털 필터와 디지털 보호계전 알고리즘의 유용성을 증명한다.

II. 디지털 필터

보호계전에 응용되는 디지털 필터는 단순한 대역 필터 보다는 보호 및 측정에 필요한 특정 성분을 추출하는데 목적이 있다. 본 시스템에서는 보호계전 및 계측을 동시에 수행하므로 전압, 전류의 기본파의 크기 및 위상 그리고 대칭분 등을 모두 연산하여야 한다. 따라서 원하는 조파의 성분을 추출하는데 유용한 Fourier Transform 방식이 적합하다. 그러나 Fourier Transform Filter는 연산시간이 많이 걸리는 단점이 있으므로 이를 개선한 Heptagonal Wave Cross-Correlation Digital Filter (HWCDF)를 이용한다.

입력신호를 주기당 N번 Sampling하고 Window를 1주기로 할 때 기준파형과 Digitized Signal (x(n))의 Cross-Correlation은 다음과 같이 표시된다.

$$y_{r1}(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(k-n) \text{ EVEN}(k-n) \dots\dots (1)$$

$$y_{i1}(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(k-n) \text{ ODD}(k-n) \dots\dots (2)$$

여기에서 EVEN(k-n)과 ODD(k-n)은 (k-n)번째 Sampling때 기준 파형의 Even 과 Odd 함수의 디지털 값이다. 그리고 필터 출력 y_{r1}(k)와 y_{i1}(k)는 k번째 Sampling 순간에서의 기본파의 Real과 Imaginary 성분이다.

HWCDF는 기준 파형으로 그림 1과 같은 Heptagonal Wave를 사용한다. 여기서는 Sampling 순간을 Heptagon의 Corner들과 일치시키기 위해서 주기당 샘플수를 12로 한다. Real과 Imaginary 성분을 식 (1), 식 (2)로부터 구하면

$$y_{r1}(k) = (1/6) [(x_k - x_{k-6}) + 0.875(x_{k-11} - x_{k-7} - x_{k-5} + x_{k-1}) + 0.5(x_{k-10} - x_{k-8} - x_{k-4} + x_{k-2})] \dots(3)$$

$$y_{i1}(k) = (1/6) [(x_{k-9} - x_{k-3}) + 0.875(x_{k-8} + x_{k-10} - x_{k-2} - x_{k-4}) + 0.5(x_{k-7} + x_{k-11} - x_{k-1} - x_{k-5})] \dots (4)$$

와 같이 되고 식 (3)의 Frequency Response는 그림 2와 같다. 그림2 와 그림3에 나타난 바와 같이 HWCDF는 Fourier Transform 과 비슷한 Frequency Response를 가지면서도 연산량이 훨씬 작고 곱셈 연산이 필요없다. 본 시스템에서는 HWCDF를 적용하고 Digital Filter의 Aliasing현상을 제거하기 위하여 Cut-Off Frequency가 240Hz인 2nd Order Butterworth Analog Filter를 부가함으로써 그림 4와 같은 양호한 Frequency Response를 얻었다.

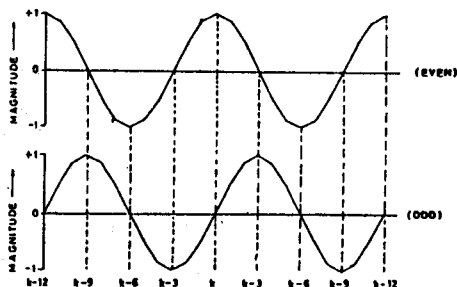


그림 1. Even and odd Heptagonal Waves of the Fundamental Frequency (N = 12)

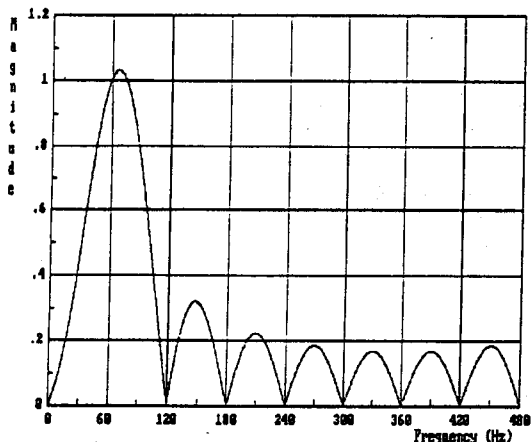


그림 2. 식 (3)의 Frequency Response

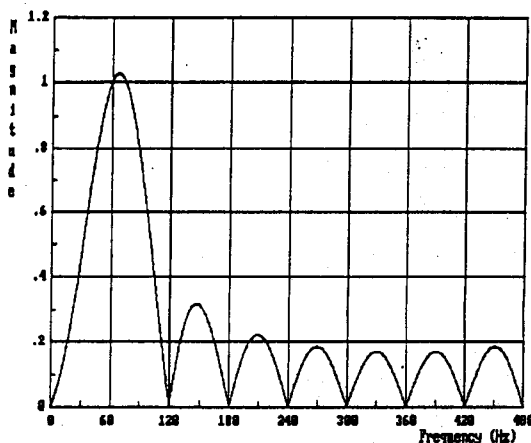


그림 3. Fourier Transform Filter의 Real 성분의 Frequency Response

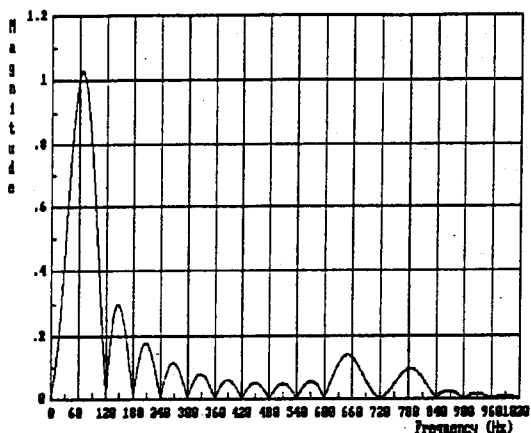


그림 4. Frequency Response of HWCDF * Analog Filter

III. 한시요소 디지털 보호계전 알고리즘

본 시스템의 한시과전류 보호계전 특성은 IEC 255-4를 기준으로 하여

$$t = F(I) = \frac{K}{I^n - 1} \dots\dots\dots (5)$$

로 하였다. 여기서 I는 기준전류에 대한 고장전류의 비, t는 Time Delay이고 k와 n는 계수이다. 그림 5는 반한시 과전류 계전기의 특성을 나타낸 것이며 이때 n = 0.25 이다. K에 따라 Time-Delay가 달라진다.

식 (5)로 부터 Relaying Decision Model을 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$G(I) To = 1 \dots\dots\dots (6)$$

여기에서 To는 Tripping Time Delay이고 G(I) = 1/F(I) 이다. 식 (6)은

$$\sum_{j=1}^n G(I_j) = 1/dT \dots\dots\dots (7)$$

과 같이 되고 식 (7)에 의한 보호계전 알고리즘은 그림 6과 같다. 그러나 G(I) 연산은 상당한 시간을 요하므로 Look-Up Table을 이용하여야 하며 Look-Up Table을 만들기 위해서는 특성 곡선의 Digitizing 작업이 필요하다. 그림5와 같은 지수 함수는 $\Delta t/\Delta I$ 가 일정 하지 않으므로 대수적으로 Digitizing 하면 오차가 균일하지 않다. 따라서 log I를 기준으로 Digitizing 하였고 I가 작을수록 $\Delta t/\Delta I$ 가 커지므로 선형화하여 구간마다 Discrete Interval을 달리하였다.

G(I)의 Look-Up Table은 시스템 초기화때 선택된 Curve 특성 k와 기준전류 10배의 사고전류 (I = 10)에서의 Time

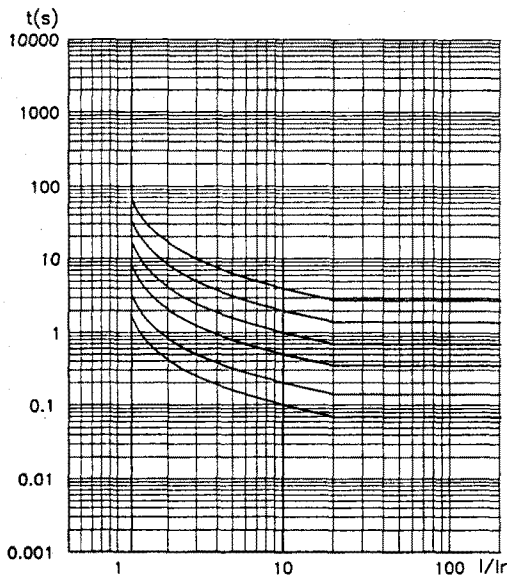


그림 5. Inverse Time Curves of OCR

Delay를 입력 받아 그림 7과 같은 알고리즘에 의해 생성된다. 여기서 ITAB는 Digitized I Value Table이다. Log Table과 G(I) Table을 이용한 보호계전 알고리즘은 그림 8과 같다. 덧셈, 뺄셈만이 연산에 필요한 그림 8의 알고리즘에 의해 고속의 Relaying Decision이 가능하다.

한시요소 보호특성을 가지는 OCGR, UVR, OVR동도 같은 알고리즘으로 쉽게 구현된다.

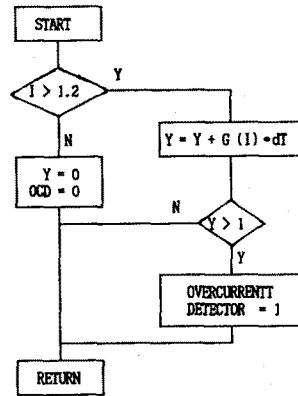


그림 6. Relaying Decision Algorithm

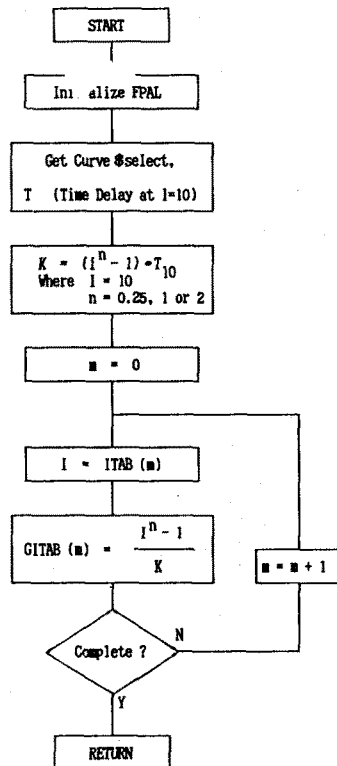


그림 7. G(I)의 Look-Up Table 생성 Algorithm

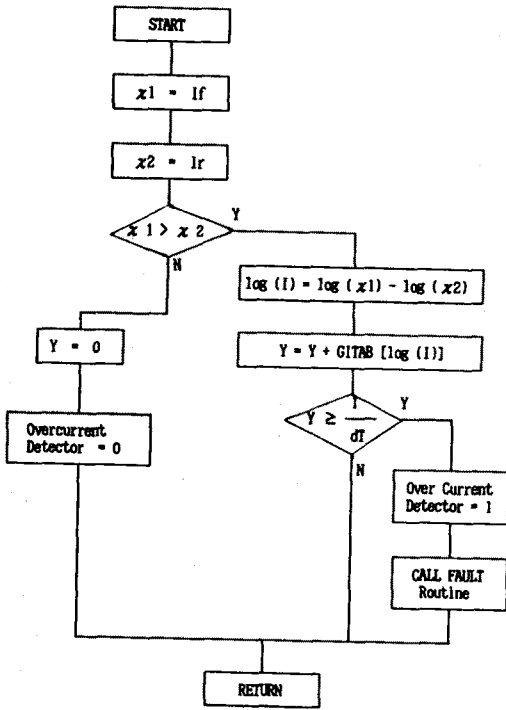


그림 8. Relaying Decision Algorithm using Look-up Tables

IV. 시스템의 구성과 기능

본 시스템의 구성은 그림 9와 같다. 계통전압과 전류를 입력시키며 절연과 레벨 변환을 행하는 입력 변성기부, 아날로그양을 Sampling하여 디지털 치로 변환시키며 외부 제어신호를 인지하는 입력부, Sampling 된 디지털 데이터를 이용하여 Digital Filtering, 각종 전기량 연산 및 보호계전 연산과 전체 시스템 제어를 행하는 마이크로프로세서부, 보호계전에 필요한 정정치와 시스템 조작 명령등을 입력하는 Keyboard 조작부, 각종 정보와 시스템 상태를 표시하는 표시부, 연산 결과 및 제어 명령에 따라 차단기능 외부기기에 제어지령을 내리는 출력부등으로 구성되어 있다.

본 연구에서 개발한 전자식 배전반의 주요 기능은 다음과 같다.

- 계측, 표시 기능 (Ammeter, Maximeter, Zero Sequence Ammeter, Wattmeter, Varmeter, Power Factor, Active Power Meter, Reactive Power Meter, Voltmeter, Frequency Meter)
- 보호 기능 (Three Phase Instantaneous Overcurrent, Three Phase Time-Delay Element Overcurrent, Under

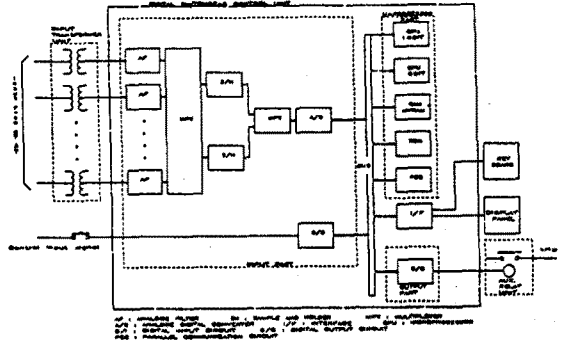


그림 9. 시스템 구성도

Current, Over Voltage, Under Voltage, Phase Current Directional, Zero Sequence Current Directional)

- 감시, 제어기능 (Selftest Function, Relay Control, Message Display)

V. 특성 시험

Digital Filter 및 보호계전 기능의 특성을 시험하기 위하여 $t = K/(I^2 - 1)$ 의 특성을 가지는 Extremely Inverse OCR Curve중 $T_{10} = 0.2 \text{ sec}$ 인 Curve를 선택하여 동작 특성을 표1, 그림 10과 같이 얻었다. 보호계전 특성은 표 1에서의 값이 3% 이내의 오차를 유지한다. 또한 HWCDF에 의해 그림 11과 그림 12에서와 같이 DC 성분과 고조파 성분에 의해 보호 특성이 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 각종 계측량은 2%이내의 오차를 얻었다. 이는 PT, CT에 의한 오차를 제외한 것이다.

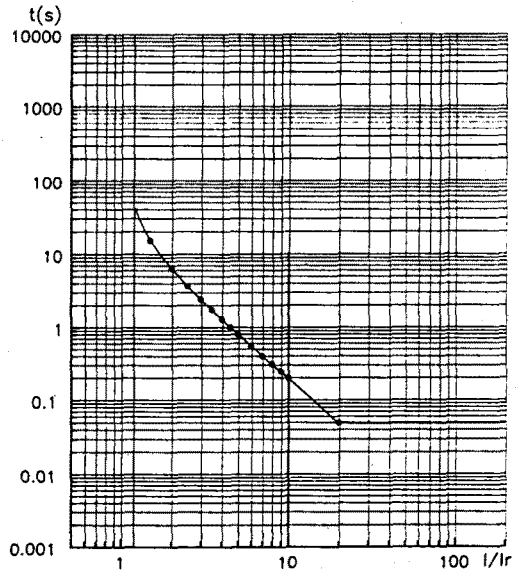


그림 10. Extremely Inverse OCR의 동작 특성 (표 1)

표 1. Extremely Inverse OCR 동작 특성에 ($T_{in}=0.25\text{sec}$)

I/Ir	Time Delay (실험값:sec)	Time Delay (이론값:sec)	오 차 (%)
20	0.5	0.0496	0.81
10	0.2	0.2	0.0
9	0.25	0.2475	1.01
8	0.3167	0.3143	0.76
7	0.4007	0.4125	2.86
6	0.55	0.5657	2.39
5	0.8167	0.825	1.01
4.5	1.0167	1.0286	1.16
4	1.3	1.32	1.52
3.5	1.75	1.76	0.50
3	2.45	2.475	1.01
2.5	3.733	3.7714	1.01
2	6.5167	6.6	1.26
1.5	15.3667	15.84	2.99

VI. 결 론

본 연구에서 개발한 마이크로프로세서를 이용한 전자식 배전반의 주요 기능은 계측, 보호, 표시, 제어 기능으로 분류할 수 있다. 각 기능을 원활히 수행하기 위해서는 외부 전기량의 정확한 계측이 가장 중요하며 이를 위해 DC 성분이나 고조파 성분을 충분히 제거함과 동시에 연산 시간이 적은 Heptagonal Wave Cross-Correlation Digital Filtering Algorithm을 구현하고 이에 적합한 Analog Filter를 설계하였다.

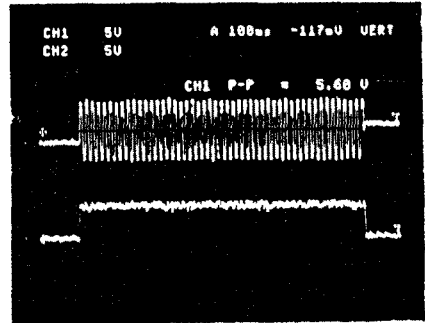
보호기능은 각각의 보호계전기가 부하에 적합한 임의의 특성용 가지게 함으로써 설비나 계통의 변경에도 하드웨어 변경없이 대처할 수 있게 하였고 한시 특성의 보호기능 구현을 위하여 Look-Up Table을 이용한 새로운 방식의 알고리즘을 개발하였다.

소프트웨어는 시분할 방식에 의해 처리함으로써 시스템의 각 기능을 실시간 처리하였다.

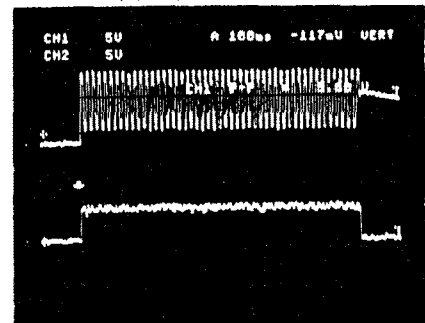
이상의 주요 방식에 의해 4장에 기술한 각 기능들을 수행하는 전자식 배전반을 개발하였으나 실용화를 위해서는 충분한 Field Test 및 Surge, Noise Test를 통한 신뢰성 향상 연구, PT, CT의 포화 특성 보상, 전력 계통에의 적용, 운용 기습, 규격 제정 및 표준화 등의 관련 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 신대승, 보호계전 기습, 한국전기연구소, 1989, P38-43
2. M. Ramamoorthy, "Application of Digital Computer to Power System Protection", Journal of Inst. Eng. (India), Vol. 52, No.10, PP 235-238.
3. H.M. Verma, K. Soundararajan, "Digital Differential Relaying for Generator Protection : Development of Algorithm and Off-Line Evaluation", Electric Power System Research, Vol 17, 1989, PP 109-117.

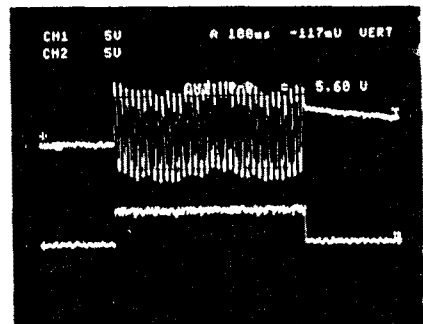


(a) 과전류만 유입시

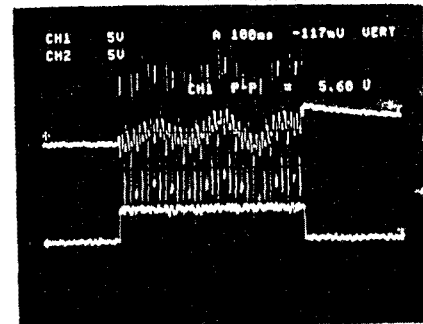


(b) DC 성분이 증철된 경우

그림 11. DC 성분에 의한 보호 특성의 영향



(a) 과전류만 유입시



(b) 과전류 + 3조파

그림 12. 고조파 성분에 의한 보호 특성의 영향

4. Gabriel Benmouyal, Sylvain Boismenu, "A Field Programmable Time-Overcurrent Relay", IEEE Trans-on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.3, 1986, PP.376-384