

새로운 고속월쉬 변환을 이용한 고속의 고조파 신호 측정기 설계

임윤식, 유영식
여주대학 전기과

A design of the Fast Measuring Instrument for Harmonic Signal using New Fast Walsh Transform

Lim, yunsik, Yoo, Youngsik
Dept. of Electrical engineering Yeojoo Institute of Technology

Abstract - Using the New Fast Walsh Transform algorithm, we present a new algorithm which reduces the computational amount, and it can consequently calculate the real and imaginary components for current and voltage signals of power system in sampling intervals. The calculation amount is reduced to $2X(m-1)$ at m samples to measure full harmonics using developed algorithm. When in single harmonic measuring, it needs only $2(\log_2 N-1)+1$ additions and subtractions. We developed hardware device for testing, and tested the developed algorithm by measuring real and imaginary components.

1. 서 론

과학기술의 발달로 인하여 사이리스터나 전력용 반도체와 같은 비선형 소자의 사용이 증가되어 전력계통상에 파형이 왜곡된 고조파 전류의 유입이 새로운 문제로 대두되고 있다. 이는 전기기기에 고조파 장애를 일으키는 원인이다. 이러한 고조파 발생을 규제하기 위해 원격 제어 시스템인 SCADA 시스템 내에 상시 on-line으로 고조파 성분을 분석하고 있다[1-3]. 전력계통의 시스템들은 컴퓨터에 의하여 전력신호의 검출이 가능하므로 보호가 가능하다는 기본개념이 Rockefeller[4]에 의해 소개되었고, Mann과 Morrison은 샘플링 데이터로부터 전압과 전류의 페이저를 측정하는 방법[5,6]을 제시하였고, Sachdev와 Baribeau는 최소사승법, Hope과 Malik은 푸리에 변환을 이용한 고조파 처리기법[7-9]을 제시하였다. 하지만 시스템에 포함되어 있는 미적분 회로로 인하여 연산량의 증가가 항상 문제로 남아 있었다. 이를 개선하기 위하여 Horton은 월쉬함수를 이용하여 디지털보호계 전기에 대한 직교 필터를 설계하였다[10,11].

본 연구에서는 전력계통의 전류, 전압의 기본파와 고조파 성분을 빠른 시간 내에 검출하기 위하여 곱셈의 연산이 필요 없는 ± 1 의 값을 가진 월쉬 알고리즘을 이용하였으며, 연산속도의 향상을 위하여 샘플링된 입력 데이터가 입력 시간의 순서로 배열되는 새로운 고속 월쉬 변환 알고리즘을 이용하였다. 기존의 고속 월쉬 변환에서는 주기당 N 샘플링 할 경우 $N \log_2 N$ 의 가감산 연산으로 처리되던 것을 $2(N-1)$ 회의 가감산 연산만으로 줄여준다.

이 알고리즘을 이용하여 한 주기 당 16회 샘플링하여 고속으로 고조파를 검출하는 검출기를 설계하였다. 이 검출기에는 새로운 고속월쉬변환 알고리즘을 이용하여 디지털 필터를 구성함으로써 범용의 프로세서에서 연산량을 감소시켜 실시간으로 전압과 전류의 기본파 및 고조파의 정확한 측정을 가능하게 하였다.

2. 새로운 고속 월쉬 변환 알고리즘

새로운 고속 월쉬 변환 알고리즘을 이용하여 전력계통의 전류와 전압의 기본파 및 고조파 신호를 실시간으로 검출하는 알고리즘을 제시하고자 한다. 기존의 고속 월쉬 변환인 경우 주기당 m 샘플링 하는 경우 $m \times \log_2 m$ 번의 연산을 수행한다. 본 연구에서는 주기 당 m 샘플링 하는 경우 $2 \times (m-1)$ 번의 연산만 수행하므로 연산량을 감소시킬 수 있다. 이는 프로세서의 연산 부담을 크게 줄여 연산 속도를 높이며, 실시간 고조파 검출을 가능하게 한다.

연산 속도의 개선을 위해 입력신호가 시간의 흐름으로 배열되어야 하며, 나비선도의 모양을 갖춰야하므로 펠리 배열이 가장 적합하다. 하지만 주파수 성분의 추출에는 적합하지 않다. 따라서 펠리 배열에 의하여 얻어진 값을 주파수 성분 추출에 적합한 월쉬 배열로 재배열하였다. 펠리, 월쉬, Cal, Sal 배열 사이의 상호관계는 표 2.1과 같다.

표 2.1 펠리, Cal, Sal 및 월쉬상호변환($N=16$)

Paley 배열	Cal, Sal 배열	Walsh 배열
Pal(0,t)	Cal(0,t)	Wal(0,t)
Pal(1,t)	Sal(1,t)	Wal(1,t)
Pal(3,t)	Cal(1,t)	Wal(2,t)
Pal(2,t)	Sal(2,t)	Wal(3,t)
Pal(6,t)	Cal(2,t)	Wal(4,t)
Pal(7,t)	Sal(3,t)	Wal(5,t)
Pal(5,t)	Cal(3,t)	Wal(6,t)
Pal(4,t)	Sal(4,t)	Wal(7,t)

연산량을 개선하기 위해서 기존의 펠리 배열 고속월쉬 변환 신호흐름도 그림 2.1을 그림 2.2와 같이 변형하였

다. 이는 비트 반전을 처음에 하는 것이 아니라 변환을 수행한 후 최종단에서 수행하게 하였다.

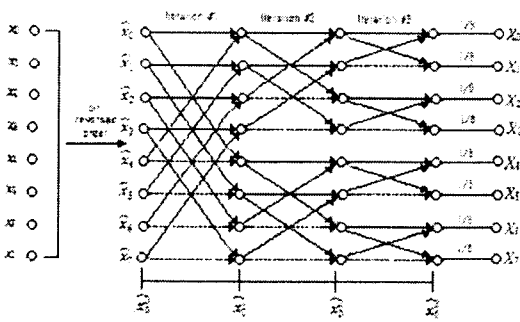


그림 2.1 펄리 배열 고속 윌쉬 변환 신호흐름도

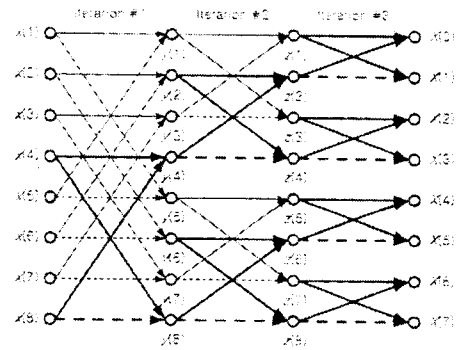


그림 2.4 고속윌쉬변환 신호흐름도(N=8, n=7)

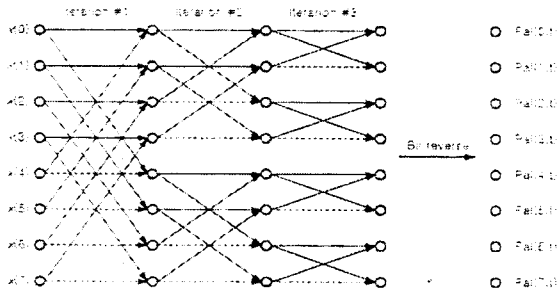


그림 2.2 변형된 신호 흐름도

또한, $x(n-N+1), x(n-N+2), \dots, x(n)$ 을 n 샘플링 시간에서 창에 포함된 N 개의 샘플 값들이라고 하면 그림 2.3은 $n=7$ 인 시간에서의 창의 고속 윌쉬 변환의 신호흐름을 나타낸 것이다.

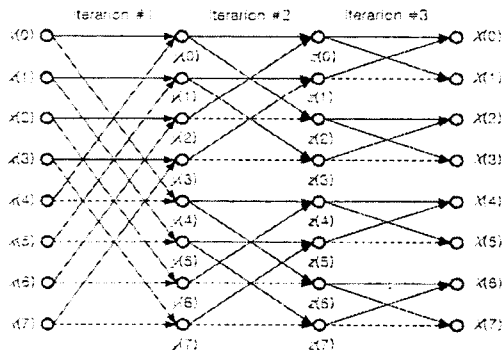


그림 2.3 고속 윌쉬 변환 신호흐름도(N=8, n=7)

다음으로 새로운 샘플 데이터 $x(8)$ 이 새로운 창으로 넘어가면 가장 오래된 값 (0)는 창에서 제외 된다. 이것은 $n=8$ 에 대한 그림 2.4에 나타난 것처럼 첫 번째 반복에서 단순히 위의 방향으로 이동시키기 때문이다.

그림 2.3과 그림 2.4에서 중간의 모든 변수들 즉, iteration #1, iteration #2, iteration #3의 변수들도 모두 이동시켰다.

이를 비교해 보면 샘플링 순간에 연산된 결과가 변하지 않으므로 다시 연산을 하지 않아도 되는 변수들이 존재한다. 첫 번째 iteration을 구성하는 4개의 나비선도들을 이동시키면 이전 샘플 순간에서 $x(0)$ 와 쌍을 이루었던 $x(4), x(8)$ 과 결합되어야 한다. 이는 그림 3.4의 iteration에 두꺼운 선으로 표현한 나비 선도만 다시 계산하면 된다. 따라서 두 번째 iteration에서는 2개의 나비선도만 다시 계산하면 되고, 세 번째 iteration에서는 4개의 선도만 계산하면 된다. 이는 고속 윌쉬변환의 moving-window 내에는 12개의 나비선도 중에 단지 7개의 나비선도만이 변환을 알 수 있다. 임의의 값 N 에 대하여 새로운 고속 윌쉬 변환을 얻기 위해 다시 계산해야 하는 나비선도의 개수는 기존의 $\frac{N}{2} \times \log_2 N$ 개 대신

$$1+2+4+ \dots + \frac{N}{2} = N-1 \text{ 의 계산이 요구된다.}$$

따라서 전체 연산은 $2(N-1)$ 회의 가감산 연산만을 수행하게 되며 최종적으로 얻어진 신호 흐름도는 그림 2.5와 같다.

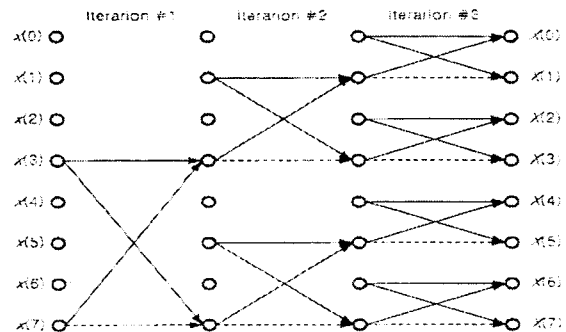


그림 2.5 새로운 고속윌쉬변환 신호흐름도(N=8)

Walker[12]는 DFT에서 N 샘플링에 대하여 유효한 개수는 $N/4$ 조파 까지라고 했다. 이는 디지털 필터를 수행하기 위해서는 연속함수를 이용할 경우 하나의 주파수 검출을 위해 샘플링 주파수가 최소한 검출하고자 하는

주파수의 2배 이상이어야 하고, 이산 함수를 이용할 경우에는 검출 주파수의 4배 이상의 샘플링 주파수를 가져야 한다[9-12]. 따라서 N/4의 고조파 성분에 대한 변환을 수행하면 되므로 연산량은 더욱 감소한다. 16샘플링을 하여 주어진 전력신호를 검출한 경우 기존의 방법과 본 연구와의 연산량을 표 2.2에 나타내었다.

표 2.2 16 샘플 연산량 비교

방법 성분	월쉬변환	고속월쉬변환	본 연구 방법
기본파	가감산:30	가감산:46	가감산:21
2고조파	가감산:30		
3고조파	가감산:30		
4고조파	가감산:30		
계	가감산:120	가감산:46	가감산:21

3. 고조파 신호 검출기 설계

하드웨어 구성의 블록 다이어그램은 그림 3.1과 같다.

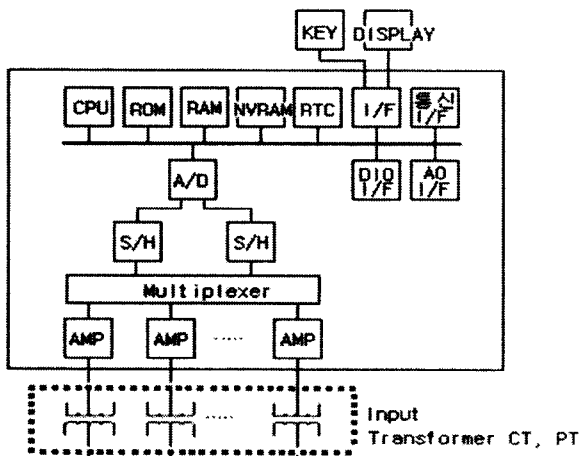


그림 3.1 고조파 신호검출기의 전체 구성도

기능별로 나누어 보면 전력계통의 CT 및 PT로부터 입력되는 신호를 적합한 신호로 변환해 주는 입력 변환부, 입력된 아날로그 신호를 디지털 값으로 변환하여 CPU에 전달하는 데이터 획득부, CPU 부, 사용자 인터페이스 부로 구성되어 있다.

그림 3.2와 그림 3.3은 각각 CPU부와 CT, PT부의 회로도이다.

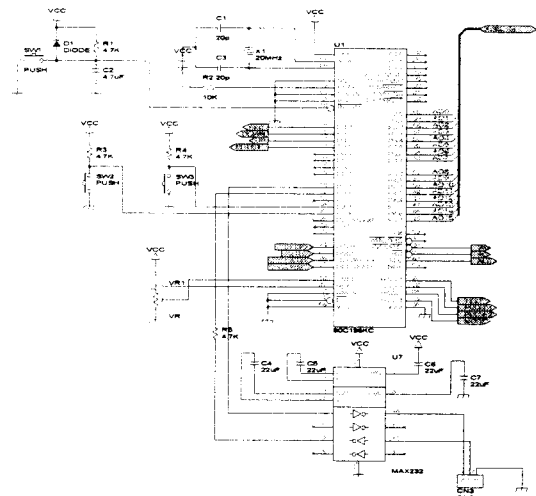


그림 3.2 CPU 회로도

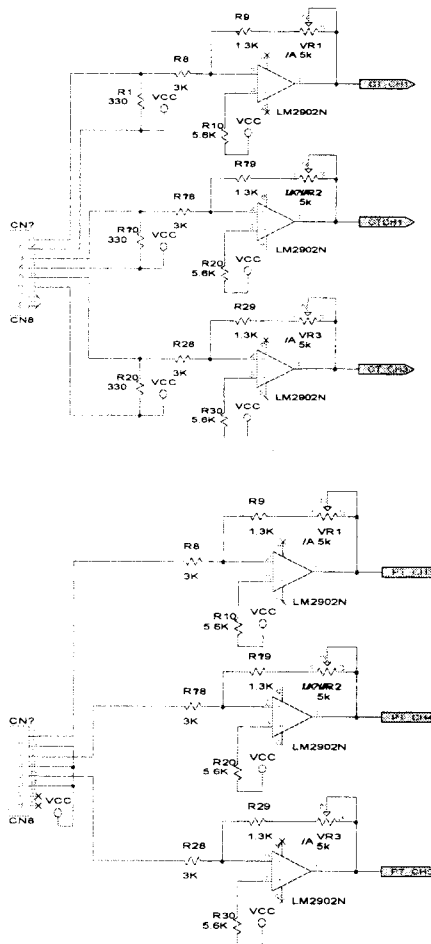


그림 3.3 CT와 PT의 회로도

소프트웨어의 개발은 메인 루틴, 키 입력 처리, 디스플레이 처리, A/D 변환 및 새로운 고속 월쉬 변환 연산처리 등으로 이루어져 있다.

주프로그램의 흐름도는 그림 3.4와 같다.

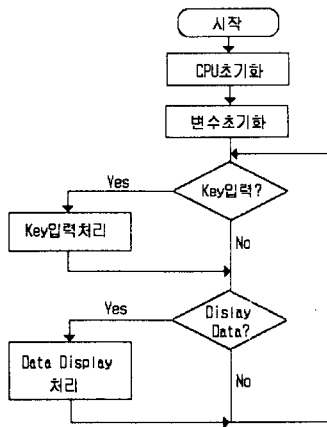


그림 3.4 주프로그램 흐름도

4. 실험 및 고찰

주기당 16샘플링을 하기 위해서 1.0416[ms] 마다 A/D변환을 하여야 하며, 이를 수행하기 위해 CPU가 가진 소프트웨어 타이머 인터럽트를 이용하였으며, 입력으로는 기본파와 3고조파에 해당하는 60[Hz]의 주파수로 1[A]의 입력을 이용하여 실험하였다. 표5.1, 표5.2, 표5.3과 표5.4는 각각에 대한 검출결과 이다. 허수부와 실수부는 AD변환기에서 양자화된 값을 새로운 고속 윌쉬 변환을 이용한 디지털 필터의 결과 값으로 1/16을 곱하기 이전의 값이다. 이는 각각에 1/16을 곱하는 것보다는 최종계통의 전압 및 전류를 표현하기 위한 연산을 수행할 때 함께 처리하면 연산 시간이 단축되기 때문이다. 또한 2ⁿ 형태의 곱셈이나 나눗셈 연산은 이동(shift) 연산으로 수행하여 연산 속도를 향상시켰다.

표 4.1 60[Hz], 1[A]에 대한 기본파 검출결과

구분 횟수	허수부 Wal(1)	실수부 Wal(2)	실효치 표시(A)	오차(%)
1	801	1825	0.996	0.4
2	540	1884	0.996	0.4
3	479	1935	0.996	0.4
4	1042	1700	0.996	0.4
5	892	1782	0.996	0.4
6	740	1854	1.004	0.4
7	577	1905	0.996	0.4
8	-1115	1647	0.996	0.4
9	982	1742	1.004	0.4
10	811	1821	0.996	0.4

표 4.2 60[Hz], 1[A]에 대한 2고조파 검출결과

구분 횟수	허수부 Wal(1)	실수부 Wal(2)	실효치 표시(A)	오차(%)
1	-6	2	0	-
2	3	-7	0	-
3	-4	8	0	-
4	4	-6	0	-
5	-9	1	0	-
6	11	-11	0	-
7	1	1	0	-
8	-2	-2	0	-
9	-2	0	0	-
10	5	5	0	-

표 4.3 60[Hz], 1[A]에 대한 3고조파 검출결과

구분 횟수	허수부 Wal(1)	실수부 Wal(2)	실효치 표시(A)	오차(%)
1	322	-76	0.465	-
2	534	-632	0.465	-
3	467	-667	0.465	-
4	418	-714	0.465	-
5	362	-744	0.465	-
6	293	-775	0.465	-
7	506	-654	0.465	-
8	461	-691	0.465	-
9	329	-755	0.465	-
10	541	-629	0.465	-

표 4.4 60[Hz], 1[A]에 대한 4조파 검출결과

구분 횟수	허수부 Wal(1)	실수부 Wal(2)	실효치 표시(A)	오차(%)
1	11	-3	0	-
2	10	14	0	-
3	2	6	0	-
4	-6	0	0	-
5	-11	-5	0	-
6	-8	2	0	-
7	1	0	0	-
8	12	0	0	-
9	4	4	0	-
10	-1	-3	0	-

5. 결과 및 고찰

본 연구에서는 새로운 고속 윌쉬 변환 알고리즘을 이용하여 전력신호인 전류와 전압의 기본파 및 고조파 성분을 샘플링 단위로 실시간 계측이 가능한 전력신호 검출기를 설계, 제작하여 그 유용성을 입증하였다.

본 연구의 성과로는

(1) 기존의 고속 윌쉬 변환은 $N \log_2 N$ 번의 가감산 연산을 하는데 반해 $2(N-1)$ 번의 가감산만으로 변환이 가능하다.

(2) 제작한 전력신호 검출기로 기본파 및 3고조파를 검출할 경우 오차 범위가 $\pm 0.4\%$ 이내에 있어 제시한 알고리즘이 우수함을 입증하였다.

추후 배전반에 장착되는 고속 디지털 보호계전기, 전류, 전압 등을 계측하는 고정밀 디지털 미터 등에 응용할 수 있으며, 고조파 측정장치 및 SCADA 시스템 같은 통합 시스템에서의 전류, 전압의 기본파 및 고조파 성분 계측에 적용할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1]. O.P.Malik, P.K. Dash, G.S. Hope, "Digital Protection of a Power Transformer", IEEE Publication 76CH1075-1 PWR Paper No. A76191-7, IEEE PES Winter meeting, New York, January 1976, pp. 1-7.
- [2]. E.O. Schweitzer, R.R. Larson, A.J. Flechsig, "An Efficient Inrush Current Detection Algorithm for Digital Computer Relay Protection of Transformer", IEEE Publication No. 77CH1193-2 PWR, Paper No. A77 510-1, IEEE PES summer Power meeting, Mexico City, July 1977, pp. 1-5
- [3]. F. Dahlmark, "Integration of protection and control", Protection system Engineering Association, November, 1998.
- [4]. G.D Rockefeller, " Fault Protection with a Digital Computer", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. 88, No. 4, April 1969, pp. 438-461
- [5]. B.J. Mann, I.F. Morrison, "Digital Calculation of Impedance for Transmission Line Protection", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 90, No. 1, January /February 1971, pp. 270-279
- [6]. B.J. Mann, I.F. Morrison, "Relaying a Three-Phase Transmission Line with a Digital Computer", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 90, No. 2, March/April 1971, pp. 742-750
- [7]. G.S Hope, V.S. Umamaheswaran, "Sampling for Computer Protection of Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 98, No. 6, November/December 1979, pp. 2232-2240.
- [8]. G.S Hope, O.P.Malik, "Sampling for Computer Protection of Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 93, No. 5, September/October 1974, pp. 1522-1533.
- [9]. G.S Hope, O.P.Malik, "Sampling Rates for Computer Transmission Line Protection", IEEE Publication No. 75CH1034-8 PWR, Paper No. A75 544-7, IEEE PES Summer meeting, San Francisco, July 1975, pp. 1-7.
- [10]. J.W. Horton, "The use of Walsh Functions for High Speed Digital Relaying", IEEE Publication No. 75CH1034-8 PWR, Paper No. A75 582-7, IEEE PES Summer meeting, San Francisco, July 1975, pp. 1-9.
- [11]. G. Ott, L.N. Walker, "Transmission Line Fault Locator", Annual Conference of Protective Relay Engineers, Texas A&M University, Collage Station, TX, April 1974.
- [12]. J.S. Walker, "Fast Fourier Transforms", CRC Press Inc., 1991.