

# 지능형 보호계전기를 위한 최적 디지털필터의 선정에 관한 연구

<sup>o</sup>박철원, 김수경, 김철환, 신명철  
성균관대학교 전기공학과

## A Study on the selection of digital filter for an artificial intelligent relay

<sup>o</sup>Chul-Won Park, Soo-Kyung Kim, Chul-Whan Kim, Myong-Chul Shin  
Dept. of Electrical Eng. Sung Kyun Kwan Univ.

### Abstract

The role of protective relaying system is important in the power system stability and reliability. Conventional relaying schemes have had many problems that adaptiveness for delicate variance of objective power systems is poor, and so on. In these days, in order to overcome the weaknesses, the studies to application of artificial intelligent scheme are required.

In this paper, as the preceding reserch for development of intelligent protective relays, we tried to select the most suitable digital filter using comparision of frequency response and performance of wanted frequency component extraction etc.

### 1. 서 론

전력에 대한 의존도가 급증함에 따라서 전력계통에 고장이 발생할 경우 고속·고상능 보호계전기의 임무는 매우 중요하게 되었다. 1970년대 중반 이후에 마이크로프로세서의 출현과 전자기술의 급속한 발전에 부응하여 보호계전분야에 컴퓨터를 이용한 디지털 보호계전기법(computer relaying)에 관한 연구가 활발히 수행되었다[1]~[2]. 그 결과 아날로그 계전기의 단점인 파라미터의 노화와 유지보수의 불편 등이 개선되었고, 제어·감시기능, 통신기능, 자기진단기능이 부가되어 신뢰성, 표준형, 경제성이 향상되었으며 국내에서도 실용화에 상당한 기여를 하였다[3].

한편, 개발된 알고리즘들의 대부분은 아날로그기법을 디지털기법으로 바꾼 채 보호기능상의 보완이 부족하였으며, 디지털 계전기에 내장될 필터 및 계산알고리즘이 복잡하여 저가형 마이크로프로세서를 이용하여 구현하기에 불가능하기도 하였으며, 또한 고가인 고속의 DSP로 구현하더라도 계통의 미묘한 상태변화에 적절히 대응을 하는 적응성이 빈약하는 등 단점이 많았다. 최근 이에 대한 보완책으로써 인공지능(artificial intelligent : AI) 기법을 보호계전에 적용하는 기술에 대한 관심이 증대되고 있으며 그 연구가 시작되었다

[4]. 보호계전에 적용하기 위해 연구되고 있는 AI 기법으로는 신경회로망(artificial neural networks)과 퍼지논리(fuzzy logic) 등이 있다[5]~[8].

본 논문에서는 전처리과정을 거친 AI 적용을 염두에 둔 지능형 보호계전기의 개발을 위한 1차적인 연구로서, 직교함수를 중심으로한 디지털 필터의 성능을 평가하기 위해 주파수 응답, 특정 주파수 추출 상태, 샘플링 선택시의 용이성, 필터 연산수 등의 항목에 대하여 기존의 디지털 필터 알고리즘들을 비교함으로써 지능형 보호계전기에 채택될 최적의 디지털 필터를 선정하였다. 또한, 적절한 디지털 필터 선정을 위한 평가기준(criteria)식을 제안하였다.

### 2. 본 론

AI 기법에 적용시에 전처리과정에서 고장이나 여자들입 등 과도상태의 계전신호는 계통의 시정수에 따라서 고조파 성분과 직류유출 성분도 포함되어 심하게 왜곡되기 때문에 특정 주파수 성분의 추출을 위하여 연산이 간편하고 효과적인 필터의 설계는 필수적이다.

#### 2.1 DFT 필터

시변계의 연속신호(continuous signal)  $x(t)$ 에 대하여 한 주기당 동일한 간격으로  $N$ 샘플링하여 얻은 이산신호(discrete signal)를  $x(n)$ 라 하면, 이에 대한 DFT  $X(k)$ 는 식(1)이 되며  $X(k)$ 의 IDFT는 식(2)가 된다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{-nk} \quad , \quad k=0,1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk} \quad , \quad n=0,1, \dots, N-1 \quad (2)$$

여기서  $W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}$ 라 한다. 식(1)과 식(2)를 비교

해 보면 DFT와 IDFT는  $W_N^{nk}$ 의 지수 부호가 다른 점과  $N$ 으로 나눈 점만이 다를 뿐 서로 매우 유사하므로 상대성이 존재한다. 오일러공식을 적용하면 식(1)은 식(3)과 같이 표현된다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \left( \cos \frac{2\pi nk}{N} - j \sin \frac{2\pi nk}{N} \right) \quad (3)$$

그리고 샘플수가 16인 경우 DFT 디지털 필터 출력의 주파수 응답은 Z 변환을 사용하여 전달함수로써 표시하면 식(4)가 된다.

$$\begin{aligned} X(Z) = & 0.125 [ (1 - Z^{-8}) \\ & + 0.9239 (Z^{-1} - Z^{-7} - Z^{-9} + Z^{-15}) \\ & + 0.7071 (Z^{-2} - Z^{-6} - Z^{-10} + Z^{-14}) \\ & + 0.3827 (Z^{-3} - Z^{-5} - Z^{-11} + Z^{-13}) ] \end{aligned} \quad (4)$$

그리고  $Z = e^{jx\nu}$  이므로

$$\begin{aligned} X(e^{jx\nu}) = & 0.125 [ (1 - e^{-j8x\nu}) \\ & + 0.9239 (e^{-jx\nu} - e^{-j7x\nu} - e^{-j9x\nu} + e^{-j15x\nu}) \\ & + 0.7071 (e^{-j2x\nu} - e^{-j6x\nu} - e^{-j10x\nu} + e^{-j14x\nu}) \\ & + 0.3827 (e^{-j3x\nu} - e^{-j5x\nu} - e^{-j11x\nu} + e^{-j13x\nu}) ] \end{aligned} \quad (5)$$

이때, 주파수  $\nu$ 에 대한 필터의 진폭응답(amplitude response)과 위상응답(phase response)은 식(6)이 된다.

$$|A(\nu)| = (\text{식(5)의 실수부제곱} + \text{식(5)의 허수부제곱})^{1/2} \quad (6)$$

$$|B(\nu)| = \tan^{-1}(\text{식(5)의 허수부} / \text{식(5)의 실수부})$$

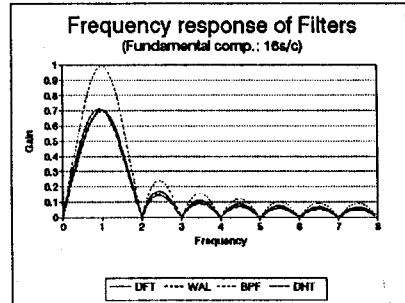
특정 주파수 추출용 BPF, WAL, BPF, DFT 필터를 차분방정식으로 표현할 수 있다[4].

### 3. 디지털 필터의 선정

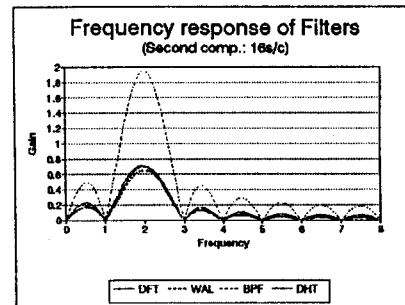
#### 3.1 주파수 응답 비교

그림 1은 샘플링이 16일 경우 기본파 및 제2고조파 성분 추출시 각 필터에 대한 주파수 응답 비교이다. 그림 1(a)에서 알 수 있듯이 기본파를 추출할 경우 그 크기에 대한 응답들은 매우 유사하며, 그림 1(b)로부터 알 수 있듯이 BPF필터의 고조파에 대한 성능은 약간 감소하나, 제2고조

파에 대한 이득이 월등하며 BPF필터를 제외한 DFT필터, WAL필터, DHT필터의 기본파에 대한 주파수 응답은 제2고조파에 대한 주파수 응답과 유사한 이득을 나타낸다.



(a) 기본파



(b) 제2고조파

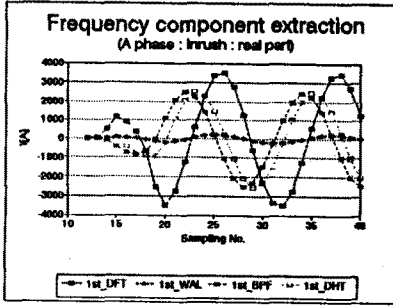
그림 1 디지털 필터의 주파수응답 (16 s/c)

#### 3.2 특정 주파수 추출 비교

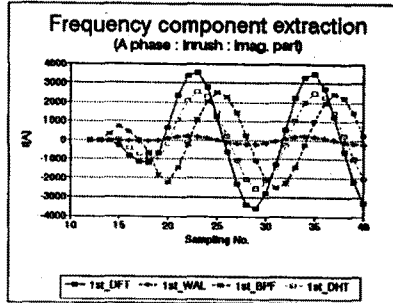
그림 2는 A상 위상각이  $0^\circ$  (16.67[ms]시점)가 되는 12샘플링주에 1차측에서 무부하 가압할 경우[9]에 발생된 여자 돌입전류에 대하여 연산된 차동전류를 DFT필터, WAL필터, BPF필터에 통과하여 추출된 기본파 및 제2고조파 성분의 실수부 및 허수부 신호이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 BPF필터가 DFT필터 보다 신속하게 추출되며 특정 주파수 성분추출의 크기도 양호함을 알 수 있다. 그런데 WAL필터에 대한 특정 주파수 추출성분의 크기는 상대적으로 매우 적게 추출되는데, 스케일(scale)을 고려하면 되기 때문에 큰 문제가 되지는 않는다.

#### 3.3 연산량 비교

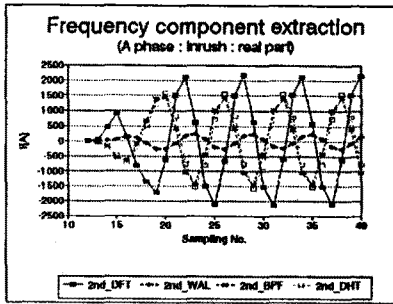
샘플수가  $N = 2^k$  ( $k = 1, 2, \dots$ )일 경우 연산량이 매우 많은 Walsh필터를 제외하고, 기본파 성분 추출 시에 필요한 연산수를 기존의 필터와 비교하여 표1과 그림 3에 도시하였다. DHT필터는 복소영역의 변환인 DFT필터에 비교해 볼 때 연산량이 반으로 감소되므로 수행시간이 빠르



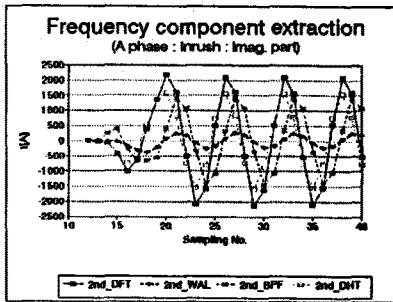
(a) 기본파의 실수부



(b) 기본파의 허수부



(c) 제2고조파의 실수부



(d) 제2고조파의 허수부

그림 2 특정 주파수 성분 추출

고 데이터 저장을 위한 기억용량이 감소되기 때문에 효율성이 증대된다. 특히 DHT필터는 승산연산수가 다른 필터의 1/2 이 되기 때문에 샘플링수가 증가할수록 더욱 우수

한 장점이 증가하므로 계산알고리즘 수행시 동작속도의 향상이 기대되나 페이지를 추출할 수 없기 때문에 다른 연산이 추가되어야 단점이 있다.

표 1. 필터의 연산수 비교

| 필터 종류 | 연산수              |                      |
|-------|------------------|----------------------|
|       | 가산               | 승산                   |
| DHT   | $(N-3) \times 1$ | $((N/4)-1) \times 1$ |
| DFT   | $(N-3) \times 2$ | $((N/4)-1) \times 2$ |
| BPF   | $(N-1) \times 2$ | $(N/4) \times 2$     |

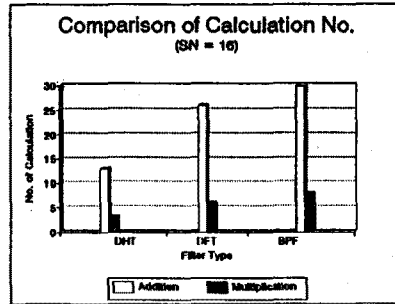


그림 3 필터의 연산수 비교

일반적으로 범용 마이크로프로세서에서는 승산연산에 소요되는 시간이 가감연산에서 보다 약 25배(8086의 경우는 ADD : 3clock, MUL : 70clock[11])이상 길기 때문에 DFT 필터는 BPF필터 보다 승산추진에서 약 1/4(25%)정도 연산시간이 단축된다. 그러므로 계산알고리즘 수행시 DFT필터는 BPF 필터에 비하여 효율성의 증대와 동작속도의 향상이 기대된다.

본 절에서 고찰한 필터들의 주파수 영역과 시간 영역에서의 특정 주파수 성분 추출능력과 그 응답은 대체적으로 우수함을 알 수 있었으며 특히, BPF필터는 제2고조파 성분추출시에 진폭특성이 매우 크기 때문에 변압기의 여자돌입현상검출용으로 유용할 수 있다. 연산속도추진에서는 DHT필터가 가장 연산부담이 적으나 페이지 추출을 위한 별도의 연산이 필요하기 때문에 제외한다면, DFT필터가 연산부담이 적게된다. Walsh필터 경우 윌쉬행렬은 단지  $\pm 1$  만의 값을 갖기 때문에 윌쉬계수를 구하기 위하여  $m \times m$  의 곱셈연산이 필요 없으나 각각의 샘플치로부터 윌쉬계수를 구한 뒤 관계행렬을 통하여 푸리에계수를 구하기 때문에 연산량이 가장 많음을 알 수 있다. 또한, 샘플링수의 용이성추진에서는 Walsh필터는 원칙적으로 주기당 샘플링 수가 양의 정수를 먹으로 하는 2의 멱수로 제안된다는 단점이 있다. 그런데 최근에는 샘플수의 제한을 받지 않도록 정의구간을  $[0, m/N]$  으로 스케일 하여 이용하는 방법이 제한되어 샘플링의 용이성이 증대되었다.

그리고 상기에서 논의된 비교결과를 일반성있게 표시가 가능하도록 평가기준을 고려하여 표현하면 식(7) 이 될 수 있다. 즉 적절한 디지털 필터의 등급을 결정할 수 있으며  $S_{filter}$  가 클수록 적합도가 크다.

$$S_{filter} = \alpha \cdot D_{filter} + \beta \cdot R_{filter}, (\alpha < \beta) \quad (7)$$

여기서  $S_{filter}$  : 필터의 종합적 적합도의 등급

$D_{filter}$  : 필터의 구분능력의 등급

$R_{filter}$  : 필터의 연산속도의 등급

$\alpha$  : 구분능력에 대한 가중치 ( $0 < \alpha < 1$ )

$\beta$  : 연산속도에 대한 가중치 ( $0 < \beta < 1$ ) 이다,

#### 4. 결 론

본 논문에서는 변압기 보호용 AI 기법에 적용하기 위한 디지털 필터의 선택을 위하여 주파수 응답과 연산수 그리고 특정 주파수 추출상태, 샘플링의 용이성 등의 항목에 대하여 비교·검토한 결과 DFT필터가 특정 주파수 성분 추출능력과 고조파 제거성능이 우수하였고, 승산연산에 소요되는 시간이 최소가 되며 샘플수의 선택이 용이하기 때문에 최적이라는 사실을 확인하였다. 디지털 필터 선정을 위한 평가기준식을 제안하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. The Institution of Electrical Engineers, "Power System Protection", Vol. I, II, III, IV Electricity Association Services Ltd., London, U.K. 1995.
- [2]. M.A. Rahman, B. Jeyasurya, "A State of the Art Review of Transformer Protection Algorithms", IEEE Trans. on PD., Vol.3, No.2, pp.534~544, April 1988.
- [3]. 한국전력공사, "변전소의 보호·제어를 위한 Digital 시스템 개발", 최종보고서, Sep. 1992.
- [4]. 한국전력공사, "지능형 보호 계전기 연구개발", 기초 전력공학 공동연구소 1/4 분기 보고서, April 1996.
- [5]. Luis G. Perez, Alfred j. Flechsig, Jack L. Meador, Zoran Obradovic, "Training an Artificial Neural Network to Discriminate between Magnetizing Inrush and Internal Faults", IEEE Trans. on PD., Vol.9, No.1, pp.434~441, Jan. 1994.
- [6]. P. Bastard, H. Regal, M. Meunier, "Neural Network Based Algorithm for Power Transformer Differential Relays", IEE Proc.-Gen.,
- [7]. A. Wiszniewski, B. Karzenny, "Primary Protective

with elements of Expert systems", CIGRE 1992 session 32-202 pp.1~7.

- [8]. A. Wiszniewski, B. Kasztenny, "A Multi-Criteria Differential Transformer Relay based on Fuzzy Logic", IEEE Trans. on PD., Vol.10, No.4, pp.1786~1792, Oct. 1995.
- [9]. 일본 EMTP 위원회, "EMTP 계산 예제집", 1987.
- [10]. Patrick Bastard, Pierre Bertrand, Michel Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE Trans. on PD., Vol.9, No.2, pp.690~699, April 1994.
- [11]. Intel Corporation, "ASM86 Assembly Language Reference Manual", 1985.