

대칭구조를 갖는 고차의 미분 에너지함수를 이용한 순간진폭 및 순간주파수 추정기

Instantaneous Amplitude and Frequency Estimator Using the Symmetric Higher Order Differential Energy Operator

임 병 관*
(Byeong Gwan Iem)

Abstract - An instantaneous amplitude (IA) estimator using the symmetric higher order differential energy operator is proposed. The amplitude estimator and the instantaneous frequency (IF) estimator based on the symmetric higher order differential energy operator coincide with the analyzed signal in time, and they show better estimation results than the IA and IF based on the higher order differential energy operator. Various IF and IA estimators are applied to AM-FM signals for the performance comparison. Among the IF and IA estimators, the IF and IA estimators based on the symmetric higher order energy operator show the best estimation accuracy. Then, the IA and IF estimators are applied to the distorted power line signal to show their usefulness as power disturbance detectors.

Key Words : AM-FM signal, Higher order differential energy operator, Instantaneous amplitude, Frequency, Instantaneous frequency, Symmetric energy operator

1. 서 론

순간주파수와 순간진폭 추정은 시변신호의 분석에 유용하기 때문에 지속적인 관심을 받는 연구분야이다. 순간주파수와 순간진폭은 시간의 함수로서 순간적인 주파수와 진폭을 보여준다. 순간주파수는 아래와 같이 정의된다[1,2].

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (1)$$

여기에서 $\phi(t)$ 는 순간진폭 $a(t)$ 를 갖는 신호 $x(t) = a(t)e^{j\phi(t)}$ 의 위상이다. 실수 값을 갖는 신호에 대하여 위상은 신호의 아날리틱 신호 $x_a(t) = x(t) + jHx(t)$ 에서 얻어질 수 있다. 여기에서 $H\{\}$ 는 힐베르트 변환을 의미한다. Kaiser 등은 Teager-Kaiser 에너지 함수를 이용하여 신호 안에 내재되어 있는 진폭성분과 주파수성분을 분리하는 에너지분리 알고리즘(Energy Separation Algorithm)을 유도했다 [3]. 이러한 에너지분리 알고리즘은 음성신호 분석 [4]과 전력선 신호의 이상현상 분석 등에 활용되었다 [5]. Maragos 등은 고차의 미분에너지함수를 이용하여 순간주파수 [6]와 순간진폭을 추정하는 방법을 제안하였다 [7]. 계산량의 증가라는 단점이 있지만 고차의 미분에너지함수에 기반한 순간주파수 추정기는 Kaiser의 에너지분리 알고리즘에 비교해서 향상된 주파수 추정성능을 보인다. 그러나 고차의 미분에너지는 시간 영역에서 비대칭적인 구조를 가지며 따라서 얻어지는 진폭 및 주파수 추정치는 시간영역에서 보정

을 필요로 한다.

본 논문에서는 대칭구조를 갖는 고차의 미분에너지 함수를 사용하여 순간진폭 추정기를 구한다. 아울러 순간주파수 추정기에도 대칭구조의 미분에너지 함수를 적용한다. 제안된 추정기를 진폭과 주파수가 시간과 함께 변하는 AM-FM 신호에 적용하여 진폭 및 주파수 추정 성능을 비교한다. 논문의 구조는 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존의 순간진폭 및 주파수 추정기를 살펴본다. 아울러 대칭구조를 갖는 고차의 미분에너지 함수, 이 함수에 기반한 순간진폭과 주파수 추정기를 제안한다. 3장에서는 AM-FM 신호에 다양한 순간진폭과 순간주파수 추정기를 적용하여 성능을 비교한다. 4장에서는 전력선 신호의 이상현상에 순간진폭과 주파수 추정기를 적용하여 제안된 추정기의 유용함을 보인다.

2. 순간주파수와 순간진폭 추정기

2.1 순간주파수의 고전적인 정의

신호의 위상을 시간영역에서 미분을 취하는 것으로 정의되는 순간주파수는 위식 (1)과 같다 [1,2]. 이산신호의 경우 미분을 근사화하는 방법에 따라 다양한 순간주파수 정의가 가능하다. 대표적으로 분석시간 n 에 대하여 대칭인 차동방정식을 이용하여 다음과 같이 구한다 [2]. $f[n] = \frac{1}{4\pi} \cdot (\phi[n+1] - \phi[n-1])$ 여기에서 $\phi[n]$ 은 이산시간 영역에서의 위상이다.

2.2 Teager-Kaiser 에너지 함수를 이용한 순간진폭과 순간주파수

Teager는 다음과 같이 정의되는 에너지 함수를 정의하여

* 정 회 원 : 강릉대학교 전자공학과 부교수

E-mail : ibg@kangnung.ac.kr

접수일자 : 2012년 1월 26일

최종완료 : 2012년 7월 16일

과동을 발생시키는데 필요한 에너지를 구하였다 [8].

$$\Psi\{x(t)\} = (x'(t))^2 - x(t)x''(t) \quad (2)$$

위의 함수를 Teager-Kaiser 에너지 함수라고 한다. 이산신호의 경우 에너지 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\Psi_d\{x[n]\} = x^2[n] - x[n+1]x[n-1] \quad (3)$$

(3)의 함수를 이용하여 Kaiser는 신호에 내재된 진폭성분과 주파수 성분을 분리하는 방법을 제안하였다. 즉 DESA I (Discrete Energy Separation Algorithm I)은 아래와 같다 [3].

$$f[n] \approx \frac{1}{2\pi} \cdot \cos^{-1}\left(1 - \frac{\Psi_d\{y[n]\} + \Psi_d\{y[n+1]\}}{4\Psi_d\{x(n)\}}\right) \quad (4)$$

$$|a[n]| \approx \sqrt{\frac{\Psi_d\{x(n)\}}{1 - \left(1 - \frac{\Psi_d\{y[n]\} + \Psi_d\{y[n+1]\}}{4 \cdot \Psi_d\{x(n)\}}\right)^2}} \quad (5)$$

여기에서 $y[n] = x[n] - x[n-1]$ 이다. 아울러 DESA II라 하는 진폭 주파수 분리 알고리즘을 추가로 다음과 같이 정의하였다[3].

$$f[n] \approx \frac{1}{4\pi} \cdot \cos^{-1}\left(1 - \frac{\Psi_d\{x[n+1] - x[n-1]\}}{2\Psi_d\{x(n)\}}\right) \quad (6)$$

$$|a[n]| \approx \frac{2\Psi_d\{x[n]\}}{\sqrt{\Psi_d\{x[n+1] - x[n-1]\}}} \quad (7)$$

2.3 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭과 순간주파수

고차의 미분에너지함수는 아래와 같이 정의 된다 [6].

$$\Gamma_k\{x(t)\} = x'(t)x^{(k-1)}(t) - x(t)x^{(k)}(t). \quad (8)$$

여기에서 k는 에너지함수의 차수이다. k=2일 때, 고차의 미분 에너지함수는 (2)의 Teager-Kaiser 에너지 함수로 된다. 이산신호에 대하여 고차의 미분에너지함수는 다음과 같이 정의된다 [6].

$$\Gamma_k\{x[n]\} = x[n]x[n+k-2] - x[n-1]x[n+k-1] \quad (9)$$

k=1일 때, (9)의 미분에너지함수는 $\Gamma_1\{x[n]\} = 0$ 이다. k=2일 때 미분에너지함수는 Teager-Kaiser 에너지함수 (3)과 같으며, k=3일 때 미분에너지함수는 다음과 같다.

$$\Gamma_3\{x[n]\} = x[n]x[n+1] - x[n-1]x[n+2] \quad (10)$$

고차의 미분에너지함수를 이용하여 이산신호에 대하여 순간 주파수와 순간진폭은 아래와 같이 정의할 수 있다 [6,7].

$$f[n] = \frac{1}{2\pi} \cos^{-1}\left(\frac{\Gamma_3\{x[n]\}}{2 \cdot \Gamma_2\{x[n]\}}\right) \quad (11)$$

$$|a[n]| = \sqrt{\frac{\Gamma_2\{x[n]\}}{1 - (\Gamma_3\{x[n]\}/2\Gamma_2\{x[n]\})^2}} \quad (12)$$

(11)과 (12)의 순간주파수와 순간진폭은 k차와 (2k-1)차의 미분에너지함수를 이용하여 다음과 같이 일반화될 수 있다.

$$f_k[n] = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{(k-1)} \cos^{-1}\left(\frac{\Gamma_{2k-1}\{x[n]\}}{2 \cdot \Gamma_k\{x[n]\}}\right) \quad (13)$$

$$|a_k[n]| = \frac{[\Gamma_k\{x[n]\}]^{1/2}}{[1 - (\Gamma_{2k-1}\{x[n]\}/2\Gamma_k\{x[n]\})^2]^{1/4}} \cdot \frac{1}{[1 - (\frac{\Gamma_{k-1}\{x[n]\} + \Gamma_{k+1}\{x[n]\}}{2\Gamma_k\{x[n]\}})^2]^{1/4}} \quad (14)$$

식 (13)과 (14)에서 차수 k를 임의의 값으로 설정하여 순간주파수와 순간진폭을 구할 수 있다.

2.4 대칭구조를 갖는 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭과 순간주파수

앞 절의 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭과 순간주파수는 비대칭적인 데이터 배열을 이용하는 미분에너지함수로 인하여 시간영역에서 동기가 안 되는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위하여 대칭구조를 갖는 고차의 미분에너지함수를 아래와 같이 정의한다.

$$\Gamma_{ks}\{x[n]\} = \begin{cases} \frac{\Gamma_k\{x[n]\} + \Gamma_k\{x[n-k+2]\}}{2} & k \text{ odd} \\ \Gamma_k\left\{x\left(n - \frac{k}{2} + 1\right)\right\} & k \text{ even} \end{cases} \quad (15)$$

예를 들어, k=3, k=4, k=5 에 대하여 대칭구조의 미분에너지함수는 각각 다음과 같다.

$$\Gamma_{3s}\{x[n]\} = (\Gamma_3\{x[n]\} + \Gamma_3\{x[n-1]\})/2,$$

$$\Gamma_{4s}\{x[n]\} = \Gamma_4\{x[n-1]\},$$

$$\Gamma_{5s}\{x[n]\} = (\Gamma_5\{x[n]\} + \Gamma_5\{x[n-3]\})/2$$

식(15)의 대칭구조를 갖는 미분에너지함수를 식(13)과 (14)의 일반적인 차수의 순간주파수와 순간진폭 추정기에 적용하면 시간에 동기가 된 대칭구조의 추정기를 얻을 수 있다. 다음 장에서는 다양한 순간진폭과 순간주파수의 진폭 및 주파수 추정성능을 비교한다.

3. 순간진폭 및 순간주파수 추정기의 성능비교

순간진폭 추정기와 순간주파수 추정기의 성능은 다음과 같이 비교된다. 시험신호로는 아래의 AM-FM신호가 사용되었다 [3,6].

$$x[n] = (1 + \kappa \cos(\pi n/100)) \cdot$$

$$\cos(0.2\pi n + 20\lambda \sin(\pi n/100)), 0 \leq n \leq 399,$$

$(\kappa, \lambda) \in (0.05i, 0.05j) | i, j = 1, 2, 3, \dots, 10$ 즉, κ 는 AM변조부분을 조절

하며, λ 는 FM변조부분을 조절한다. κ, λ 는 i, j 값에 따라 5%에서 50%까지 5%간격으로 증가한다. 이론적인 순간진폭은 $a[n] = 1 + \kappa \cos(\pi n/100)$ 이며, 순간주파수는 $f[n] = f_s \cdot (0.1 + 0.1\lambda$

$\cdot \cos(\pi n/100))$ 이다. 여기에서 $f_s = 200\text{Hz}$ 로 표본화 주파수이다. 그림 1은 $\kappa = 0.05, \lambda = 0.05$ 일 때, 잡음이 없는 환경에서 AM-FM신호, 신호의 이론적인 순간진폭과 이론적인 순간주파수를 나타낸 그림이다. 즉 이론적인 진폭은 $a[n] = 1 + 0.05 \cos(\pi n/100)$ 이고 이론적인 주파수는 $f[n] = 20 + \cos(\pi n/100)$ 이다.

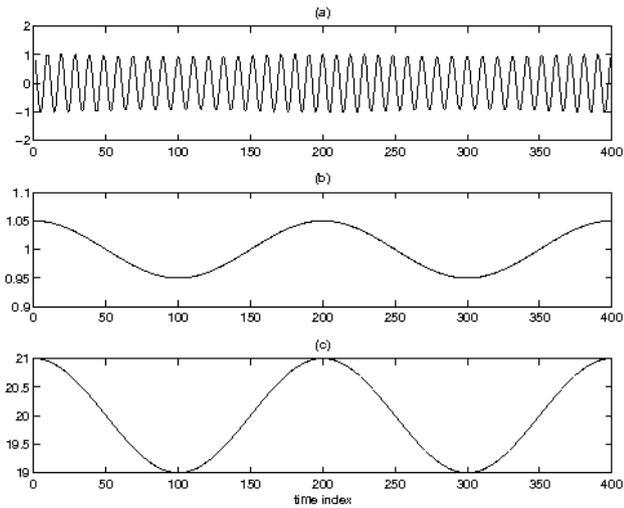


그림 1 AM-FM신호와 그 순간진폭 및 순간주파수 (a) AM-FM신호 (b) 순간진폭 (c) 순간주파수

Fig. 1 AM-FM signal, its instantaneous amplitude and instantaneous frequency (a) AM-FM signal (b) IA and (c) IF

아래 그림 2는 그림 1의 신호를 순간진폭 추정기로 추정 한 결과를 함께 그린 것으로 대칭구조의 추정기의 유용성을 보인다. 그림 2(a)는 이론적인 순간진폭과 DESA계열 순간진폭 추정기, 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기, 대칭구조의 순간진폭 추정기의 추정결과를 함께 그린

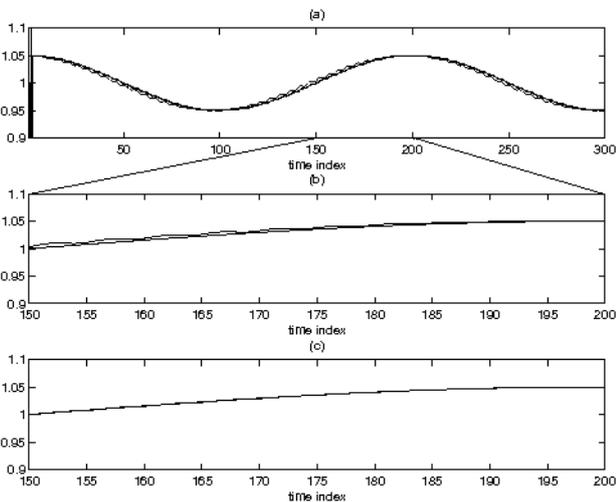


그림 2 다양한 순간진폭 추정기의 순간진폭 추정결과 (a) 순간진폭의 이론값과 다양한 추정기의 추정결과 (b) 이론값과 고차의 미분에너지를 이용한 추정값 (c) 이론값과 대칭구조를 이용한 추정값

Fig. 2 IA estimation using various instantaneous amplitude estimators (a) true IA and results from various IA estimators (b) true IA and the IA using the higher order differential energy operator (c) true IA and the IA using the symmetric higher order differential energy operator

것이다. 그림에서 보이듯이 모든 순간진폭 추정기가 성능상의 차이에도 불구하고 대체로 이론적인 진폭을 추정함을 알 수 있다. 그러나 확대된 그림인 그림 2(b)와 (c)에서 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭추정기와 대칭구조의 순간진폭추정기의 미세한 차이를 확인 할 수 있다. 그림 2(b)와 (c)는 추정결과를 이론적인 순간진폭과 함께 그린 것으로 150 ~ 200 sample구간을 확대한 것이다. 그림 (b)에서 볼 수 있듯이 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 결과는 이론적인 진폭에 대하여 시간이 동기 되어있지 않다. 그림 (c)의 대칭구조를 갖는 순간진폭 추정기는 시간 동기된 순간진폭을 보인다. 이러한 차이는 진폭 추정기의 추정성능에 반영되며 정량적인 성능비교 결과를 보이는 그림 4에서 확인할 수 있다. 유사하게 그림 3은 순간주파수에 대하여 이론적인 결과와 추정결과를 함께 나타낸 것으로 고차의 미분에너지를 이용한 순간주파수 추정기와 대칭구조의 순간주파수 추정기의 차이를 볼 수 있다. 그림 3(a)는 이론적인 순간주파수와 DESA계열 순간주파수 추정기, 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간주파수 추정기, 대칭구조의 순간주파수 추정기의 추정결과를 함께 그린 것이다. 각 순간주파수 추정기의 정량적인 성능의 차이는 그림 5에서 보인다.

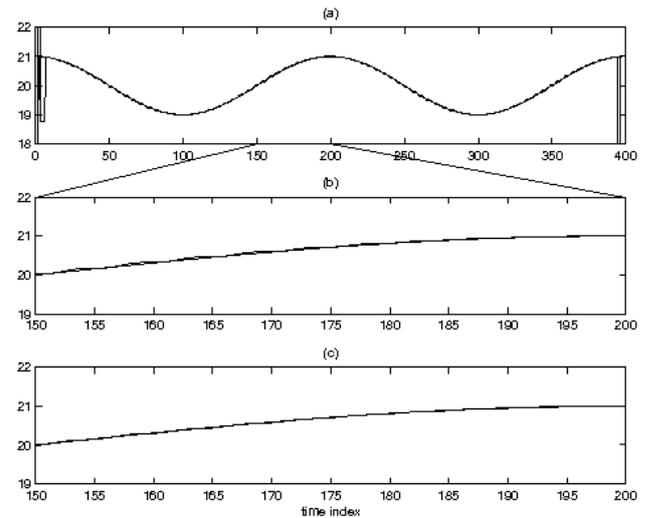


그림 3 다양한 순간주파수 추정기의 순간주파수 추정결과 (a) 순간주파수의 이론값과 다양한 추정기의 추정결과 (b) 이론값과 고차의 미분에너지를 이용한 추정값 (c) 이론값과 대칭구조를 이용한 추정값

Fig. 3 IF estimation using various instantaneous amplitude estimators (a) true IF and results from various IF estimators (b) true IF and the IF using the higher order differential energy operator (c) true IF and the IF using the symmetric higher order differential energy operator

순간진폭의 추정오차는 다음과 같이 계산되었다.

$$\begin{aligned} \text{추정오차 (\%)} &= \\ &= \frac{1}{40000} \sum_{n=0}^{399} \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} (a_{ij}[n] - \hat{a}_{ij}[n]) / a_{ij}[n]. \end{aligned}$$

여기에서 $a_{ij}[n]$ () 은 특정 (i, j) 에서의 순간진폭의 참 값이고 $\hat{a}_{ij}[n]$ 은 순간진폭 추정결과이다. 순간주파수의 경우, 위 추정오차에서 진폭을 주파수로 대체하여 얻는다. 아래 그림 4는 다양한 순간진폭 추정기에 따른 추정성능을 보인다. 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기는 High로 표기했으며, 대칭구조를 갖는 순간진폭 추정기는 Symm으로 표기하였다. 그림에서 보이듯이 k=3인 대칭구조의 순간진폭 추정기가 가장 좋은 진폭추정성능을 보인다. k=3인 고차미분에너지함수를 이용한 순간진폭추정기 역시 비교적 우수한 성능을 보인다. k=2일 때, 대칭구조의 순간진폭 추정기와 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기는 낮은 SNR 값에서 Teager-Kaiser에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기보다 우수하나 높은SNR 조건에서는 DESA 계열의 진폭추정기 보다 성능이 저조하다.

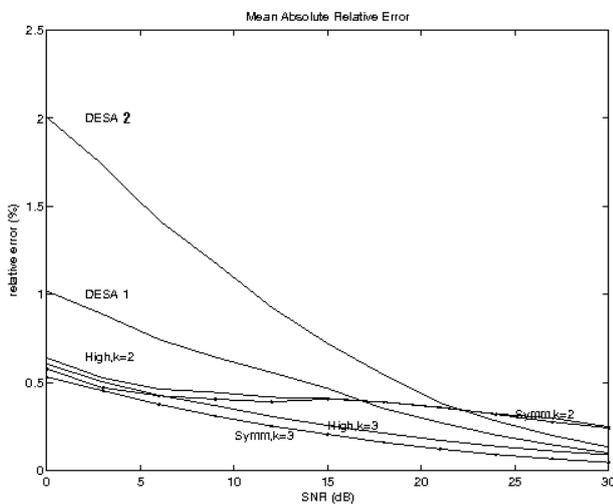


그림 4 다양한 순간진폭 추정기의 진폭추정오차
Fig. 4 Estimation error of various instantaneous amplitude estimators

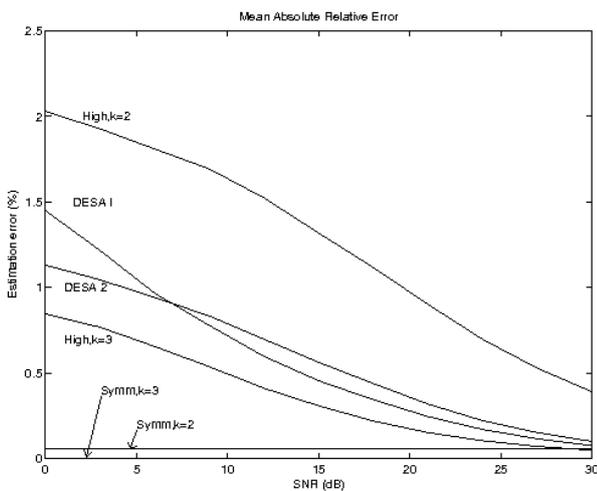


그림 5 다양한 순간주파수 추정기의 주파수추정성능
Fig. 5 Estimation accuracy of various instantaneous amplitude estimator

그림 5는 순간주파수 추정기에 따른 추정성능을 보인다. 그림에서 보이듯이 k=3인 대칭구조의 순간주파수 추정기가 가장 좋은 주파수 추정성능을 보인다. k=3인 고차미분에너지함수를 이용한 순간주파수 추정기 역시 비교적 우수한 성능을 보인다. k=2일 때, 대칭구조의 순간주파수 추정기와 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간주파수 추정기는 낮은 SNR 값에서 Teager-Kaiser에너지함수를 이용한 순간주파수 추정기보다 우수하나 높은 SNR 조건에서는 DESA 계열의 주파수 추정기 보다 성능이 저조하다.

4. 순간진폭 및 순간주파수 추정기의 응용

이절에서는 본 논문에서 제안된 대칭구조의 순간진폭 추정기와 순간주파수 추정기를 전력선 신호의 이상현상 검출에 적용하여 그 유용성을 보인다. 마이크로 전자공학의 발전으로 반도체 소자가 다양한 분야에 적용되고 있다. 예를 들어 PLC의 형태로 공장자동화에 기여하고 있다. 이러한 기기에는 안정적인 고품질의 전력 공급이 중요하다. 최근 전력산업과 같은 기간산업의 민수화가 진행되고 있는 서구에서는 전력선 신호의 안정적인 품질유지가 중시되고 있다 [9]. 전력선상의 신호는 정상상태에서 일정한 진폭과 일정한 주파수를 보인다. 따라서 순간진폭과 순간주파수를 측정하면 이상현상의 발생을 검출하고 발생시점을 결정할 수 있다.

그림 6은 전력선 신호가 시간 0.2~0.3초 사이에서 고조파 왜곡되었을 때의 신호를 보인다. 그림 6(a)는 $THD = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k/V_1}$ 로 정의되는 왜곡정도가 $THD = 30\%$ 일 때의 신호이다 [10]. 여기에서 $V_1=1$ 은 정상신호의 진폭이며, V_k 는 고조파 왜곡신호의 진폭으로 $THD = 30\%$ 이 되도록 설정되었다. 그림 6(b)는 순간진폭 신호이고 그림 6(c)는 순간주파수이다. 그림 6(c)에서는 출력의 범위가 매우 크기 때문에 순간주파수 추정값을 60으로 나눈 뒤 상용로그를 취하였다. 따라서 값이 1일 때가 정상상태이다. 사용된 순간진폭 및 순간주파수 추정기는 k=3일 때의 대칭구조를 갖는 순간진폭 및 순간주파수 추정기이다. 그림에서 보이듯이 순간진폭은 정상상태에서 진폭이 1로 출력되며 전력선 신호에 이상현상이 발생시 정상을 벗어난 결과를 보인다. 따라서 진폭에 이상이 있음을 검출할 수 있다. 순간주파수 역시 정상상태에서는 60Hz를 출력하며 고조파왜곡이 발생한 구간에서 60Hz를 벗어난 결과를 출력한다.

그림 7은 전력선 신호가 시간 0.2~0.3초 사이에서 순간적으로 진폭이 감쇄했을 때의 신호를 보인다. 그림 7(a)는 감쇄정도가 30% 일 때의 신호이다. 그림 7(b)는 순간진폭 신호이고 그림 7(c)는 순간주파수이다. 사용된 순간진폭 및 순간주파수 추정기는 k=3일 때의대칭구조를 갖는 순간진폭 및 순간주파수 추정기이다. 그림에서 보이듯이 순간진폭은 정상상태에서 진폭이 1로 출력되며 전력선 신호가 감쇄한 구간에서 감쇄된 진폭을 보인다. 따라서 진폭의 감쇄를 검출할 수 있다. 순간주파수 역시 정상상태에서는 60 Hz를 출력하며 진폭이 감쇄한 순간에서 60Hz를 벗어난 결과를 출력한다. 그리고 감쇄구간 내에서는 다시 60Hz의 결과를 보인다. 이는 왜곡의 내용이 진폭에 국한되기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 대칭구조를 갖는 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기를 제안하였다. 아울러 다양한 순간진폭 추정기와 순간주파수 추정기의 추정성능을 비교하였다. 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 및 순간주파수 추정기는 기존의 Teager-Kaiser 에너지함수를 이용한 진폭, 주파수 분리 알고리즘에 비교하여 우수한 성능을 보인다. 그러나 고차의 미분에너지함수에 내재된 비대칭성으로 인하여 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 및 주파수 추정기는 분석대상 신호와 시간동기가 되지 않는 문제가 있다. 이를 극복하기 위하여 대칭구조의 에너지함수를 이용한 순간진폭 추정기를 제안하였다. 결과로써 대칭구조를 갖는 순간진폭 및 순간주파수 추정기는 고차의 미분에너지함수를 이용한 순간진폭 및 순간주파수 추정기 보다 우수한 추정성능을 보인다. 제안된 순간진폭 및 순간주파수 추정기를 이상현상으로 왜곡된 전력선 신호에 적용하여 이상현상 검출기로 활용할 수 있음을 보였다. 순간진폭 및 순간주파수 추정기를 조합하면 다양한 이상현상의 유형 진단에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Hlawatsch and G. F. Boudreaux-Bartels, "Linear and quadratic time-frequency signal representations," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, pp. 21-67, Apr. 1992.
- [2] B. Boashash, "Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal-Part 2: algorithms and applications," Proc. of the IEEE, vol. 80, pp. 540-568, Apr. 1992.
- [3] P. Maragos, J. F. Kaiser, and T. F. Quatieri, "On amplitude and frequency demodulation using energy operators," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, pp. 1532-1550, Apr. 1993.
- [4] P. Maragos, J. F. Kaiser, and T. F. Quatieri, "Energy separation in signal modulations with application to speech analysis," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, pp. 3024-3051, Oct. 1993.
- [5] B. Iem, "Instantaneous frequency estimators as voltage disturbance detectors," Proc. of 2006 IEEE Power Systems Conference and Exposition, pp. 2225-2228, Oct. 2006.
- [6] P. Maragos, and A. Potamianos, "Higher order differential energy operators," IEEE Signal Processing Letters, vol. 2, pp. 152-154, Aug. 1995.
- [7] B. Santhanam, and P. Maragos, "Energy demodulation of two-component AM-FM signal mixtures," IEEE Signal Processing Letters, vol. 3, pp. 294-471, Nov. 1996.
- [8] H.M. Teager, "Some observations on oral air flow during phonation," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, ASSP-28, pp. 599-601, Oct. 1980.

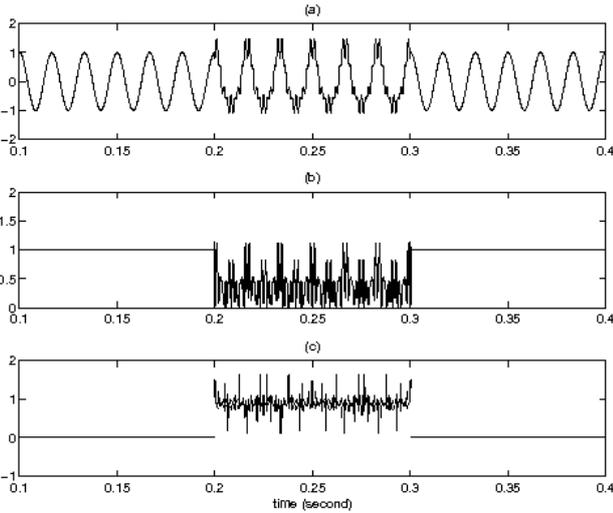


그림 6 고조파 왜곡된 전력선상신호와 순간진폭 및 순간주파수 추정결과 (a) 고조파왜곡된 신호, (b) 순간진폭 (c) 순간주파수 추정값 ($\log_{10}[\hat{f}(t)/60]$)

Fig. 6 Power signal with harmonic distortion and its instantaneous amplitude and frequency (a) harmonically distorted power signal (b) IA estimates (c) IF estimates ($\log_{10}[\hat{f}(t)/60]$)

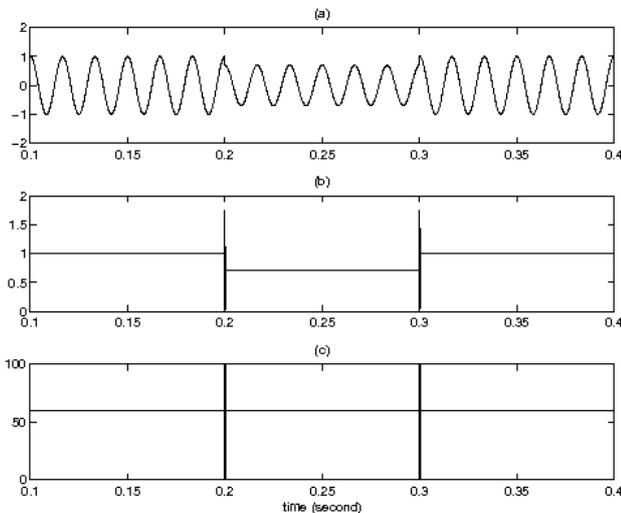


그림 7 30% 진폭 감쇄된 전력선상신호와 순간진폭 및 순간주파수 추정결과 (a) 고조파왜곡된 신호, (b) 순간진폭 (c) 순간주파수 추정값

Fig. 7 Power signal with 30% sag distortion and its instantaneous amplitude and frequency (a) sagged power signal (b) IA estimates (c) IF estimates

그림 6과 7의 결과에서 알 수 있듯이 순간진폭 및 주파수 추정기를 활용하여 전력선상 신호의 이상현상을 검출할 수 있다. 아울러 두 결과를 조합하여 이상현상의 유형을 분류할 수 있을 것으로 기대된다.

- [9] Domijan, A., Heydt, G.T., and Meliopoulos, A.P.S. "Directions of research on electric power quality", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 1, pp. 429-436, Jan., 1993.
- [10] Wagner, V.E.: "Effects of harmonics on equipment: Report of the IEEE Task force on the effects of harmonics on equipment", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 2, pp. 672-680, 1993.

저 자 소 개



임 병 관 (林 炳 寬)

1965년 4월 3일생, 1988년 연세대 전자공학과 졸업, 1998년 Univ. of Rhode Island 전기공학과 졸업(공학박사), 2002년 현재 강릉대 전자공학과 부교수
Tel : 033-640-2426
Fax : 033-646-0740
E-mail : ibg@kangnung.ac.kr