The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61P, No. 4, pp. 174~179, 2012
http://dx.doi.org/10.5370/KIEEP.2012.61.4.174

광역 보호계전 지능화를 위한 동적 주파수 모니터링 S/W 개발

Development of Dynamic Frequency Monitoring Software for Wide-Area Protection Relaying Intelligence

김 윤 상* · 박 철 원†
(Yoon-Sang Kim · Chul-Won Park)

Abstract - The social and economic level of damages might be highly increased in the case of wide-area black-outages, because of heavy dependence of electricity. Therefore, the development of a wide-area protection relay intelligence techniques is required to prevent massive power outages and minimize the impact strength at failure. The frequency monitoring and prediction for wide-area protection relaying intelligence has been considered as an important technology. In this paper, a network-based frequency monitoring system developed for wide-area protection relay intelligence is presented. In addition, conventional techniques for frequency estimation are compared, and a method for advanced frequency estimation and measurement to improve the precision is proposed. Finally, an integrated monitoring system called K-FNET(Korea-Frequency Monitoring Network) is implemented based on the GPS and various energy monitoring cases are studied.

Key Words : Advanced frequency estimation, Black-outages, Frequency monitoring software, K-FNET, Wide-area protection relaying intelligence

1. 서 론

전력계통이 대규모화 되고 다양화됨에 따라 광역정전사고가 발생할 경우 사회적, 경제적 피해의 규모는 더욱 기하급수적으로 증가하게 된다. 이에 대규모 정전 예방을 위해 사고에 강인하며 파급효과를 최소화할 수 있는 광역보호 계전 지능화 기술이 필수적으로 요구되고 있다. 또 유비쿼터스화에 따른 네트워크 기반 광역보호 및 고장예측과 계통 운용 선진 신기술 개발이 시급하다. 근래 계통 주파수의 모니터링 및 예측 기술이 광역보호계전 지능화 기술의 핵심 기술로 대두되고 있다[1,2].

해외의 연구동향으로는 2003년 ABB사와 미국 버지니아 공과대학 협력 하에 전력계통 주파수 감시 및 분석 시스템 프로토타입이 개발되었고, 2004년 유선인터넷을 이용한 네트워크 기반 시스템이 시험을 거쳐 운용 중에 있다[3]. 최근에는 FDR(Fault Disturbance Recorders)기반 FNET(Frequency Network) 이라는 유선 네트워크기반 시스템을 이용하여 자국내의 지역별 주파수 추이를 분석 및 예측하여, 발전기 탈락 등의 부분 계통 이상 시에 전체 계통에 미치는 영향을 파악하고, 궁극적으로는 부하 차단을 통하여 광역보호계전의 지능적인 안정화를 목표로 적극적인 연구개발이 이루어지고 있다[4].

국내의 연구동향으로는 프로컴 시스템에서 광역계통 보호를 위해 유, 무효 전력 및 전압/전류 등의 정보를 이용하는 PMU(Phasor Measurement Unit)를 개발하였다. 개발된 위성망을 이용한 위기관리 시스템은 제주도 발/변전소에 시험 설치 운영 중에 있으며 현재 새로운 기능이 탑재된 PMU를 개발 중에 있다. 2009년 8월 KERI, 한전KDN, LS산전 등이 공동으로 한국형 광역전력계통감시시스템(K-WAMS : Korea-Wide Area Measurement System)을 개발하였다[5~7]. 그런데 LS산전에서 개발한 iPIU(Intelligent Power System Information Unit)는 육상계통에 시범 설치하였으나 근래 시장성 등을 고려하여 상품화를 위한 개발을 중단하였다고 한다. 또 2000년대 중반 KD 파워에서는 웹 기반 전력통합관리시스템을 개발하였고, 명지대 등에서는 에이전트 기반 적응형 광역정전 방지기술 등을 제안한 바 있다. 2000년 중반이후 Power IT 과제의 하나로 위성망을 이용한 위기관리시스템의 개발연구가 진행되었다. 최근 KERI에 따르면, 스마트 그리드의 일환으로 연구되는 광역계통 실시간 감시제어시스템(WAMAC:Wide Area Monitoring And Control System)은 전력계통의 불안정한 상황을 조기 검출 경보하는 것은 물론 스스로 해당 계통을 차단해 광역정전을 사전에 방지함으로서 향후 안정적 전력공급이 예상된다[8,9]. 최근 시스템 인프라 설계와 응용 프로그램 개발, 수도권 부하차단과 당진화력발전기 차단시스템 고도화를 위한 상세설계·실증 테스트베드 구축은 완료된 상태이다. 한편 2011년 11월 현재, 고장예측 및 고장지역 판별 기술이 내장된 주파수 모니터링 시스템은 개발사례가 없는 상황이다[1].

본 논문에서는 광역보호계전 지능화를 위한 동적 주파수 모니터링 S/W를 개발하였다. 먼저 6가지 주파수 추정알고리즘을 기술한 후[11~15] 비교연구를 통해 개선된 정밀 주파수 측정기법을 제시하였다. 선정된 최적의 주파수 추정 알고리즘을 적용한 동적 주파수 모니터링 S/W[16,17]를 서술하였다.

* 정 회 원 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수 · 공박
† 교신저자, 종신회원 : 강릉원주대학교 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr
접수일자 : 2012년 10월 5일
최종완료 : 2012년 11월 12일

2. 개선된 주파수 추정 알고리즘 개발

2.1 페이저 위상차를 이용한 주파수 추정기법

고조파와 잡음이 포함된 입력신호로부터 기본 주파수 성분의 실수부와 허수부를 추출하기 위해 DFT 디지털 필터를 사용하였다. 이산신호 $X(n)$을 주기 당 12샘플링 한 경우 필터의 출력은 식(1), 식(2)와 같이 차분 방정식으로 표현할 수 있다[11].

$$\begin{aligned} X_{r1}^{12}(n) = \frac{2}{12}[&X_n - X_{n-6} \\ &+0.5(X_{n-10} - X_{n-8} - X_{n-4} + X_{n-2}) \\ &+0.866(X_{n-11} - X_{n-7} - X_{n-5} + X_{n-1})] \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} X_{i1}^{12}(n) = \frac{2}{12}[&X_{n-9} - X_{n-3} \\ &+0.5(X_{n-11} + X_{n-7} - X_{n-5} - X_{n-1}) \\ &+0.866(X_{n-10} + X_{n-8} - X_{n-4} + X_{n-2})] \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, $X_{r1}^{12}(n)$, $X_{i1}^{12}(n)$는 각각 기본파 성분의 실수부와 허수부이다. 위의 이산신호를 식(3)과 같이 $\overline{X_n}$의 페이저 형태의 신호로 표현할 수 있다.

$$\overline{X_n} = X_{rn} + jX_{in} \tag{3}$$

유사하게, n+1번째 데이터 윈도우에 대응되는 샘플의 실수부와 허수부는 $\overline{V_{(n+1)}} = V_{r(n+1)} + jV_{i(n+1)}$로 표시할 수 있다.

이때, 위상차는 페이저의 회전으로 표현할 수 있다. 필터를 통과한 연속하는 두개 이산신호 페이저의 위상차는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_{n+1} - \theta_n = \tan^{-1}[\frac{X_{i(n+1)}}{X_{r(n+1)}}] - \tan^{-1}[\frac{X_{i(n)}}{X_{r(n)}}] \tag{4}$$

식(4)는 식(5)와 같이 다르게 표현할 수 있다.

$$\theta_{n+1} - \theta_n = \tan^{-1}[\frac{X_{rn}X_{i(n+1)} - X_{in}X_{r(n+1)}}{X_{rn}X_{r(n+1)} + X_{in}X_{i(n+1)}}] \tag{5}$$

θ_n과 θ_{n+1}의 위상각이 입력신호의 기본파 주파수와 같도록 가정하여 설계된 필터를 사용해서 계산된다면 추정 주파수 f_e는 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$f_e = (\theta_{n+1} - \theta_n) \times F_s / 2\pi \tag{6}$$

2.2 이득 보상기에 의한 개선된 주파수 추정기법

주파수가 변동될 때 DFT 필터로부터 얻어진 실수부와 허수부는 이득 오차를 포함하게 되므로 오차가 보정된 주파수 추정기법으로 표현할 수 있다. DFT 필터의 이득보상기는 코사인 필터와 사인 필터를 Z변환시킨 후 주파수에 따른 위상과 크기를 계산해서 식(7), 식(8)과 같이 유도할 수 있다[12].

$$G_c(f) = 0.5 \times [g(f - f_{sys}) - g(f + f_{sys})] \tag{7}$$

$$G_s(f) = 0.5 \times [g(f - f_{sys}) + g(f + f_{sys})] \tag{8}$$

여기서, $|g(f)| = \frac{\sin(A)}{A}$, $A = \frac{\pi}{f_{sys}}$이다.

2.3 이득 보상에 의한 직접 주파수 추정기법

이산신호 $X(n)$의 크기가 M이고 위상이 θ일 때, $X(n)$에 오차 보정식을 적용하여 실수부와 허수부를 구하면,

$$X_c(n) = M_c \cos(2\pi n \frac{f}{f_s} + \hat{\theta}) \tag{9}$$

$$X_s(n) = M_s \sin(2\pi n \frac{f}{f_s} + \hat{\theta}) \tag{10}$$

식(9)와 식(10)을 조합하여 타원의 방정식을 이용하면 식(11)과 같이 크기의 비를 구할 수 있다.

$$\frac{M_c}{M_s} = \sqrt{\frac{v_c^2(n) - v_c^2(n-1)}{-v_s^2(n) + v_s^2(n-1)}} \tag{11}$$

최종적으로 추정 주파수는 식(12)와 같이 표현할 수 있다[13].

$$f_e = \frac{f_s}{\pi} tan^{-1}(\tan(\frac{\pi f_0}{f_s}) \frac{M_c}{M_s} \tag{12}$$

2.4 RDWT에 의한 주파수 추정기법

마더 웨이브릿의 선정에 따라 웨이브릿 변환의 결과에 큰 영향을 미친다. 식(13)과 같은 마더 웨이브릿을 선택할 수 있다[14,15].

$$\psi(t) = (\frac{\sigma^3 t^3}{3} - \frac{\sigma^4 t^4}{6} + \frac{\sigma^5 t^5}{15}) e^{(-\sigma + iw_0)t} x(t) \tag{13}$$

여기서, $\sigma = \frac{w_0}{\sqrt{3}}$, $w_0 = 2\pi$로 설정한다.

웨이브릿 변환의 이산 형태는 식(14)와 같이 표현할 수 있다.

$$W_{s,\psi}(f, kT) = T\sqrt{f} \sum_{n=1}^{\infty} (s(nT) * \psi(fnT)) \tag{14}$$

Z변환을 사용하면, 식(14)는 식(15)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} &W_{s,\psi}(Z)(\lambda_1 Z^{-1} + \lambda_2 Z^{-2} + \lambda_3 Z^{-3} + \lambda_4 Z^{-4} + \lambda_5 Z^{-5} + \lambda_6 Z^{-6}) \\ &= \sqrt{f}\, TS(Z) \cdot (\delta_1 Z^{-1} + \delta_2 Z^{-2} + \delta_3 Z^{-3} + \delta_4 Z^{-4} + \delta_5 Z^{-5}) \end{aligned} \tag{15}$$

여기서, $\alpha = e^{-f \triangle T(\sigma - jw_0)}$

$$\delta_1 = \alpha[(\sigma f \triangle T)^3/3 - (\sigma f \triangle T)^4/6 + (\sigma f \triangle T)^5/15]$$
$$\delta_2 = \alpha^2[2(\sigma f \triangle T)^3/3 - 5(\sigma f \triangle T)^4/3 + 26(\sigma f \triangle T)^5/15]$$
$$\delta_3 = \alpha^3[-6(\sigma f \triangle T)^3/3 + 22(\sigma f \triangle T)^5/5]$$
$$\delta_4 = \alpha^4[2(\sigma f \triangle T)^3/3 + 5(\sigma f \triangle T)^4/3 + 26(\sigma f \triangle T)^5/15]$$
$$\delta_5 = \alpha^5[(\sigma f \triangle T)^3/3 + (\sigma f \triangle T)^4/6 + (\sigma f \triangle T)^5/15]$$

$$\lambda_1 = -6\alpha, \lambda_2 = 15\alpha^2, \lambda_3 = -20\alpha^3, \lambda_4 = 15\alpha^4,$$
$$\lambda_5 = -6\alpha^5, \lambda_6 = \alpha^6$$

Z-변환의 변위특성(displacement characteristics)에 따라, RDWT은 식(16)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & W_s(kT,f) \\ & = \sqrt{f}\,T\delta_1[s(k-1)T,f] + \delta_2[s(k-2)T,f] \\ & + \delta_3[s(k-3)T,f] + \delta_4[s(k-4)T,f] + \delta_5[s(k-5)T,f] \\ & - \lambda_1 W_{s,\psi}[(k-1)T,f] - \lambda_2 W_{s,\psi}[(k-2)T,f] \\ & - \lambda_3 W_{s,\psi}[(k-3)T,f] - \lambda_4 W_{s,\psi}[(k-4)T,f] \\ & - \lambda_5 W_{s,\psi}[(k-5)T,f] - \lambda_6 W_{s,\psi}[(k-6)T,f] \end{aligned} \tag{16}$$

웨이브릿 계수는 실시간으로 구현이 가능하다. 상차각 $\theta(k)$, 추정 주파수 $f(k)$는 각각 식(17), 식(18)과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta(k) = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{W_{s(k\triangle T)}(k+1)}{x(k+1)} - \frac{W_{s(k\triangle T)}(k)}{x(k)}}{\triangle T}\right) \tag{17}$$

$$f_e(k) = \left(\frac{w_0}{a} - \frac{\theta(k+1)-\theta(k)}{\triangle T}\right) \times 0.1591549 \tag{18}$$

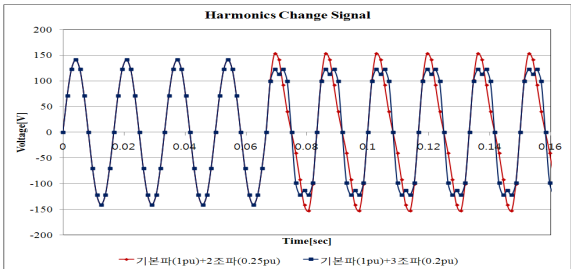
2.5 최적의 주파수 추정 알고리즘 선정을 위한 사례연구

2.5.1 고조파 함유 변동

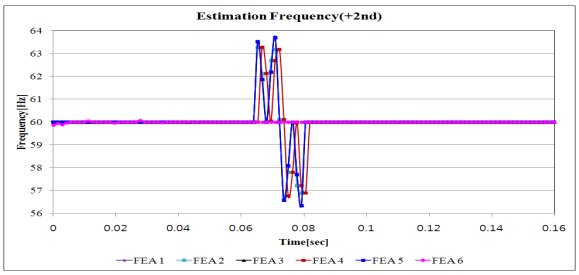
6가지의 주파수 추정 알고리즘의 성능 평가를 위해서 고조파 변동 신호 및 사용자 정의임의 신호를 이용하였다.

편의상 식(4)의 상차각에 의한 주파수 추정기법을 FEA (Frequency Estimation Algorithm) 1, 식(4)에 식(7), 식(8)의 이득보상을 적용한 주파수 추정기법을 FEA 2, 식(5)에 의한 주파수 추정 기법을 FEA 3, 식(5)에 식(7), 식(8)의 이득보상을 적용한 주파수 추정기법을 FEA 4, 식(12)의 이득보상에 의한 직접 주파수 추정기법을 FEA 5, 반복 이산 웨이브릿 변환에 의한 주파수 추정기법을 FEA 6이라고 명시하였다.

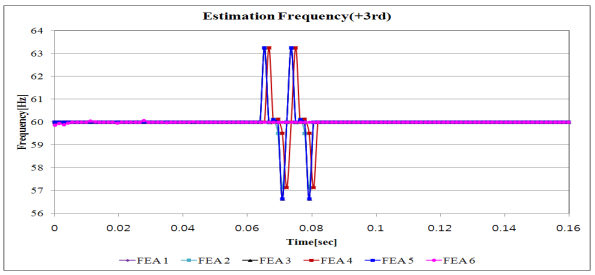
그림 1(a)는 기본파에 0.25[pu]의 2고조파 성분을 함유 시킨 신호와 기본파에 0.2[pu] 3고조파 성분을 함유 시킨 신호이다. 그림 1(b), 1(c)는 제시된 6가지 기법의 주파수 추정 결과이다. 그림 1(b)로부터 0.25[pu]의 2고조파가 함유된 직후, FEA 1 ~FEA 5는 추정 주파수가 최대 ±3.7[Hz]의 진동폭을 나타내면서 주파수를 추정하나, FEA 6은 최대 ±1.0[Hz]의 진동폭을 나타내며 안정적으로 주파수를 추정하는 모습을 볼 수 있다. 그림 1(c)로부터 0.2[pu]의 3고조파가 함유된 직후, FEA 1 ~FEA 5는 최대 ±3.3[Hz]의 진동폭을 나타내나 FEA 6는 오차가 감소된 ±0.3[Hz]의 진동폭을 나타내며 안정적으로 주파수를 잘 추정하는 모습을 볼 수 있다.



(a) 고조파 변동 신호



(b) 2고조파가 포함된 경우



(c) 3고조파가 포함된 경우

그림 1 고조파가 함유된 경우 주파수 추정 결과
Fig. 1 Estimated frequency of harmonics change

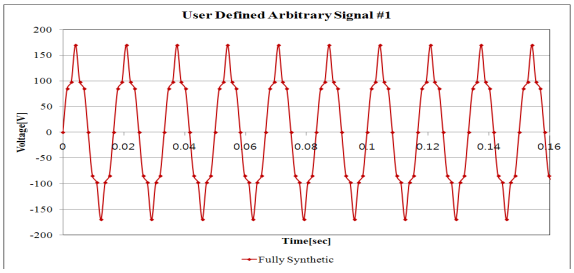
2.5.2 사용자 정의임의 신호

식(19)와 같이 정규 주파수 60[Hz]를 기반으로 5고조파가 30%, 7고조파가 10%로 구성된 사용자 정의임의 신호를 생성하였다. 이때 처음부터 완전히 합성된 경우와 순차적으로 합성된 경우 각각 제시된 여러 가지 주파수 추정 알고리즘의 결과를 확인하였다.

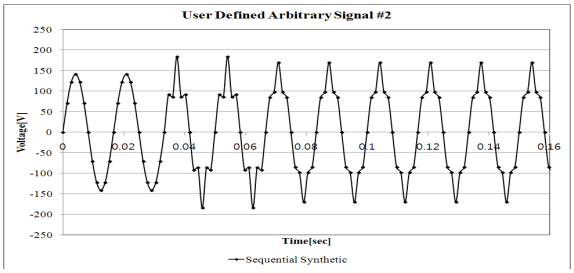
$$v(t) = \sin\omega t + \frac{3\sin 5\omega t}{10} + \frac{\sin 7\omega t}{10} \tag{19}$$

그림 2(a)는 식(19)를 직접 적용한 완전합성 시험 신호이고, 그림 2(b)는 정상상태 신호에서 2주기(0.03333[sec])이후에 5고조파를 합성하고, 다시 2주기(0.06666[sec])이후에 7고조파를 함유시킨 순차합성 시험 신호이다.

그림 3은 사용자 정의임의 신호에 대한 여러 가지 추정기법에 의한 주파수 추정 결과이다. 그림 3으로부터 처음부터 고조파를 합성한 신호에 여러 가지 추정기법을 적용하였을 때는 대부분의 기법들이 우수한 주파수 추정 성능을 나타내었다.



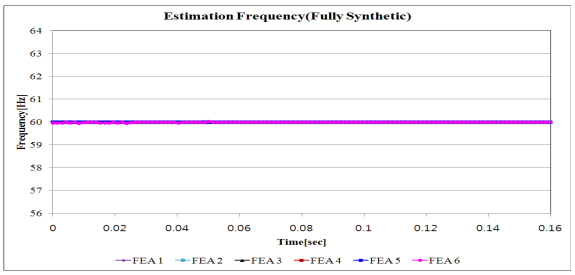
(a) 완전 합성



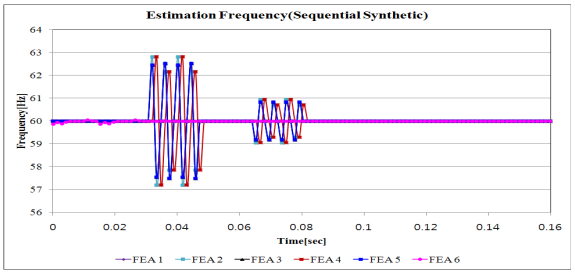
(b) 순차 합성

그림 2 사용자 정의 임의 신호
Fig. 2 Test signal with user defined arbitrary signal

이때 FEA 4의 추정 오차는 ±0.5[Hz]에 불과하였다. 고조파를 순차적으로 합성한 신호에 대해서는 FEA 1과 FEA 4는 고조파 합성되는 순간에만 흔들리며 최대 ±3[Hz]의 오차를 보이며 주파수 추정 값이 안정화 되었으며 반면에 FEA 6는 모든 영역에서 정확한 주파수 추정 성능을 나타내었다. 정규 주파수의 배수 고조파가 포함된 경우에는 대체적으로 양호한 주파수 추정 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 또



(a) 완전합성



(c) 순차합성

그림 3 사용자 정의 임의 신호에 대한 주파수 추정 결과
Fig. 3 Estimated frequency of user defined arbitrary signal

순차합성의 경우가 완전합성인 경우보다 주파수가 더 진동하는 경향을 나타내었다.

3. 동적 주파수 모니터링 S/W 개발

3.1 주파수 시각화 알고리즘 적용 및 구현

FFC(Fast Frequency Contour) 기법은 측정장치 수가 적을 경우에 Visualization 효과가 좋다. 또한, 측정장치 수가 많아짐으로 인해 발생할 수 있는 연산량 증가 문제도 Polygon Frequency Display 알고리즘을 쉽게 적용함으로 해결할 수 있기 때문에 본 논문에 적용하게 되었다[1,9,10].

FFC 기법은 측정장치와의 거리에 따라 가중치를 두어 식 (20)과 같이 주파수를 계산할 수 있다.

$$F_q = (\sum_{s \in L} (1/(Dqs * Dqs) F_s) / (\sum_{n \in L} (1/(Dqn * Dqn) F_s))) \quad (20)$$

여기서, F_q = Frequency for grid q
F_s = Frequency for grid s
Dqs = Distance from grid q to grid s
Dqn = Distance from grid q to grid n
L = Subset of grids within a specified distance from grid q and is in the same power system area

$$W_\pi = (1/(Dqs * Dqs) F_s) / (\sum_{n \in L} (1/(Dqn * Dqn) F_s))) \quad (21)$$

$$F_q = \sum_{i \in A} (W_\pi * F_s) \quad (22)$$

3.2 동적 주파수 모니터링 S/W 개발

구현한 모니터링 S/W는 주파수 Visualization기법을 통해 전압, 전류, 주파수 등의 주요 파라미터를 그래프 형태로 보여주며, 주파수 값을 컬러 코드로 디스플레이 하였다. 전압, 전류는 계통의 가상(Virtual) FDR 설치 지역(서울, 대전, 대구, 광주, 부산)에서 측정한 전압, 전류 데이터를 활용하였다[1]. 주파수는 측정된 전압 데이터를 기반으로 선정된 최적의 주파수 추정 알고리즘을 통하여 계산되었다. 모니터링 S/W의 레이아웃은 초기화면, 광역감시, 세부감시 3가지로 구분된다.

초기화면은 그림 4와 같이 모니터링 S/W 시스템 구성을 나타나게 하였으며 화면 중앙의 START 클릭시 광역감시 화면으로 전환된다.

그림 5는 운영자에게 광역계통 전력정보를 제공하는 클라이언트 운영 영역 화면이다. 지도기반 2D 화면위에 지역별 안정도를 색상으로 표현하여 전체 계통의 상황을 볼 수 있고 계통 사고에 대한 파급 상황도 관찰할 수 있도록 하였다.

좌측 서브프레임에서는 세부감시, 시뮬레이션 메뉴를 제공한다. 세부감시 메뉴에서는 지역버튼 클릭 시 가상 FDR이 설치된 지역의 주요 파라미터를 모니터링 할 수 있는 세부감시화면으로 전환이 된다. 시뮬레이션 메뉴에서는 버튼을 클릭 시 해당 고장상태의 시뮬레이션이 시작되며 전국 주파수 감시화면을 통해 시뮬레이션 과정을 실시간 모니터링 할 수 있다.

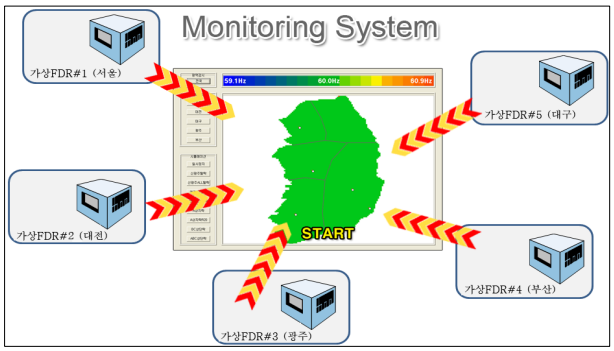


그림 4 모니터링 S/W 초기화면
Fig. 4 Monitoring S/W initial screen

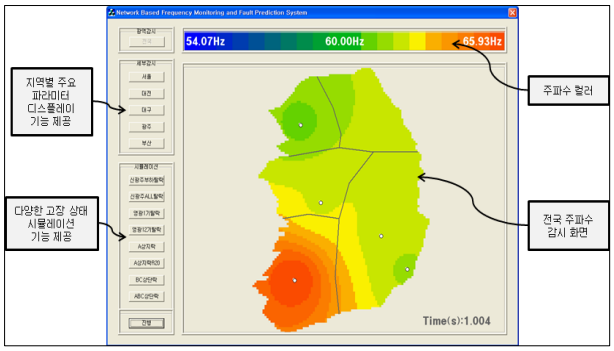


그림 5 광역 감시 화면
Fig. 5 A snapshot of wide-area monitoring

상단 프레임의 주파수 컬러에 따라 각 지역의 주파수를 컬러로 디스플레이하며, 흰 점은 가상 FDR이 설치된 지역을 나타낸다.

그림 6은 세부지역의 전력정보를 제공하는 화면이다. 광역감시 메뉴의 버튼 클릭시 광역감시 화면으로 전환이 되며 세부감시 메뉴의 버튼 클릭시에는 해당 지역의 세부지역 감시화면으로 전환이 된다. 주요 파라미터 디스플레이 화면에서는 해당 지역의 전압, 전류, 주파수, d1(웨이브 변환의 detail 1) 값을 그래프 형태로 디스플레이한다[1]. 세부지역의 추이 데이터를 관찰하기 위해 전압, 전류, 주파수를 그래프 형태로 표현하였다.

좌측 서브프레임은 광역감시, 세부감시, 시뮬레이션 메뉴를 제공한다. 광역감시 메뉴의 버튼 클릭 시 광역감시 화면으로 전환이 되며 세부감시 메뉴의 버튼 클릭 시에는 해당 지역의 세부지역 감시화면으로 전환이 된다. 주요 파라미터 디스플레이 화면에서는 해당 지역의 전압, 전류, 주파수, d1 값을 그래프 형태로 보여준다.

그림 7~그림 11은 다양한 경우(발전기 탈락, 부하 탈락, 1선 지락, 2선 단락, 3선 단락)의 시뮬레이션 기능을 구현한 것이다[1]. 시뮬레이션이 진행되는 동안 5개 지역의 전압, 전류, 주파수 등의 변화는 세부지역 감시화면에서 모니터링 가능하며, 다양한 경우에 따른 주파수 파급효과는 다음과 같이 모니터링 S/W의 광역감시 화면에서 실시간으로 모니터링이 가능하다.

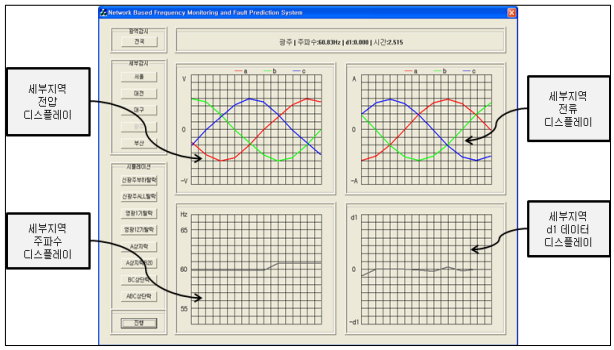


그림 6 세부 감시 화면
Fig. 6 A snapshot of local-area monitoring

그림 7 영광발전 1기 탈락 시뮬레이션 진행화면
Fig. 7 Simulation result for generator rejection in Yeonggwang

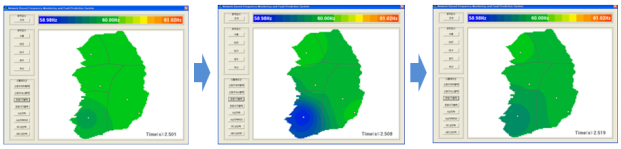


그림 8 신광주부하 500MW 탈락 시뮬레이션 진행화면
Fig. 8 Simulation result for 500mW load rejection in Shinkwangju

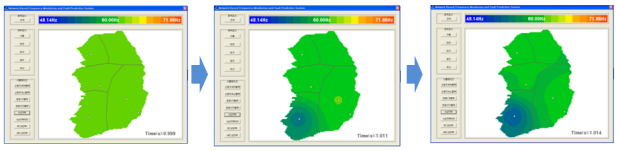


그림 9 1선(a상) 지락 시뮬레이션 진행화면
Fig. 9 Simulation result for single line-to-ground fault between Yeonggwang and Shinkwangju

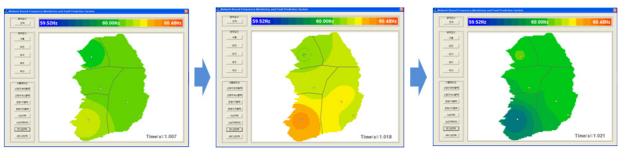


그림 10 2상(b, c상) 단락 시뮬레이션 진행화면
Fig. 10 Simulation result for double line-to-ground fault between Yeonggwang and Shinkwangju

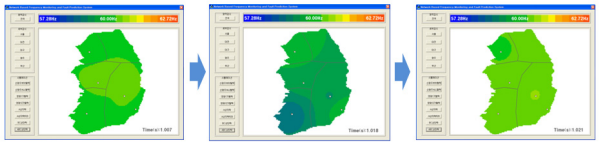


그림 11 3상(a, b, c상) 단락 시뮬레이션 진행화면
Fig. 11 Simulation result for triple line-to-line fault between Yeonggwang and Shinkwangju

4. 결 론

본 논문에서는 광역보호계전 지능화를 위한 주파수 모니터링 S/W를 개발하였다. 첫째, 개선된 정밀 주파수 추정 기법 개발을 위해 6가지의 주파수 추정 알고리즘을 비교 분석하였다. 각 알고리즘의 성능평가를 위해서 사용자 정의 임의신호를 활용하였다. 그 결과 샘플링 수가 증가할수록 추정오차가 감소하는 경향이 있었고 FEA 4의 주파수 추정 성능이 가장 우수하였다. 둘째, 주파수 시각화 알고리즘의 적용 및 구현을 통해 계통 모델링에서 지역별 주파수를 모니터링하는 가상 FDR 기반의 모니터링 S/W를 개발하였다. 끝으로 주파수를 모니터링하는 시제품 시스템 구현을 통해 실계통 적용 가능성을 타진해 볼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (2010T100100145)

참 고 문 헌

[1] Chul Won Park, “Development of Network Based Frequency Monitoring and Fault Prediction System for Wide Area Intelligent Relaying”, 2008 Energy R&D projects, final report, pp. 1~311, 2011. 11.

[2] Zhian Zhong, et al., “Power System Frequency Monitoring Network (FNET) Implementation”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 4, pp. 1914~1921. 2005. 11.

[3] Kyung Soo Kook et al., “Global behaviour of power system frequency in Korean power system for the application of frequency monitoring network”, IET Generation Transmission Distribution, Vol. 2, No. 5, pp. 764~774, 2008. 9.

[4] 김상태, 김지영, 송완석, 장수형, 문영환, 김태현, “광역 전력계통 감시시스템 구축 및 실증”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 175~176, 2009. 7.

[5] 김진환, 김지영, 이정현, 김상태, “광역감시 및 시스템 테스트를 위한 다중 가상 PMU 및 가상 FEP 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 346~347, 2011. 7.

[6] 박철원 외, “대형 발전기 내부사고 보호를 위한 다기능 IED 시제품 기술 개발”, 지식경제 기술혁신사업 1차년도 연차보고서, pp. 1~286, 2011. 5.

[7] A.G. Phadke, J.S. Thorp, “A new measurement technique for tracking voltage phasor, local system frequency, and rate of change of frequency”, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 5, pp. 1025~1034, 1983. 3.

[8] M. Tsuji, S. Hamasaki, M. Korogi, “Characteristic of Power Series Type Wavelet Transform for Online Frequency Estimation”, Power Conversion Conference-Nagoya, pp. 177~182, 2007. 4.

[9] Jason N. Bank, R. Matthew Gardner, Shu-Jen Steven Tsai, Kyung Soo Kook, and Yilu Liu, “Visualization of Wide-Area Frequency Measurement Information”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1~8, 2007. 6.

[10] G. Zhang, P. Hirsch, S. Lee, “Wide Area Frequency Visualization using Smart Client Technology”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1~8, 2007. 6.

저 자 소 개

김 윤 상 (金 潤 相)

1968년 10월 20일생. 1993년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1999년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1999년~2000년 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터 연구원. 2000년~2003년(미) Univ. Washington 전기공학과 Faculty Research Associate (전임교원연구원). 2003년~2005년 삼성종합기술원 수석연구원. 2005년~현재 한국기술교육대 컴퓨터공학부 부교수.

Tel : 041-560-1496
Fax : 041-560-1462
E-mail : yoonsang@kut.ac.kr

박 철 원 (朴 哲 圓)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~2007년 국립강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 2007년~현재 국립강릉원주대학교 전기공학과 정교수.

Tel : 033-760-8786
Fax : 033-760-8781
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr