

웨이블릿 변환의 검출 특성을 이용한 전압강하 검출에 관한 연구

정승복, 김재철, 설규환
승실대학교

A Study for Voltage Sag Detection Using Detection Characteristic Of Wavelet Transform

Seung-Bock Jung, Jae-Chul Kim, Kyu-Hwan Seol
Soongsil University

Abstract - Recently, a concern of power quality increases because of electronic device development and well-being generation. Power quality problems such as voltage sag, harmonics, flicker etc. have adverse effects on electric devices. Therefore, power quality problems have been monitored. This paper studies a detection of voltage sag that is more severer than the others. A voltage sag has been monitored using rms or wavelet method. This paper proposes an advance detection method using wavelet. An error of Start point differs error of ending point. We use this difference. So, we respectively revise detection error. Also, we revise multiplying average error rate.

통해서 오차보정을 하였다. 기존의 웨이블릿 변환 방법에 비해서 오차가 줄어들었다는 것을 알 수가 있다. 알고리즘의 검증에 위해서 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하였다.

2. 본 론

2.1 전압강하 현상

전력품질 현상중 그림 1과 같이 전압이 보통 전압이대로 저하되는 현상을 전압강하 현상이라고 한다. 다른 피더의 사고 혹은 과부하, 대형 전동기의 기동에 의해서 발생한다. 이런 전압강하는 전자기기들의 오동작을 불러올 수 있어 경제적 피해를 야기할 수 있다. 전압강하현상은 60Hz를 기준으로 할 때 0.5cycle ~ 30cycle까지의 0.1 ~ 0.9 p.u. 이하로 전압이 저하될 때 이를 전압강하라고 IEEE std. 1195-1995에 명시되어 있다.

1. 서 론

최근 민감한 전자기기의 발달과 웰빙시대에 맞추어 전력품질에 대한 관심이 증대되고 있다. 이런 전력품질의 문제에는 전압강하, 고조파, 플리커등의 문제가 있는데 기기에 악영향을 미친다. 분산전원, FACTS기들, 비선형부하, 인버터/컨버터의 전력전자기들, 타 계통과의 연계로 인해서 계통은 복잡화되고 있다. 따라서 전력품질의 문제가 과거에 비해서 많이 발생되고 있다. 따라서 이런 전력품질은 항상 감시되고 대책이 마련되어야 한다. 현재 이런 전력품질 감시에 대한 중요성은 인식하는 가운데 전력품질 감시 장치가 기기마다 설치되고 있다. 하지만 전력품질현상을 검출하고 추정에 대해서는 아직 정확하지 못한 것이 사실이다. 이 중 전압강하 문제는 민감한 수용가 부하에 많은 영향을 끼치고 있다. 이런 전압강하의 문제는 RMS를 이용하여 검출하는 방법과 웨이블릿 변환을 이용하여 검출하는 방법이 있는데 RMS방식에는 샘플링 오차가 존재하므로 웨이블릿 변환을 이용한 방법이 연구되고 있다. [1]에서는 웨이블릿 변환중에 db4변환을 이용하여 전압강하를 검출하고 RMS, STFT방식과 비교, 분석하였다. [2]에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 전압강하의 시작점과 소멸점을 검출하였다. [3]에서는 이런 웨이블릿 변환을 통해 각 전력품질 외란의 특징 벡터를 추출하고 이 특징 벡터를 이용하여 전력품질 외란을 구분하고 식별하였다. [4]에서는 전압강하를 웨이블릿과 신경회로망을 이용해서 검출하였고

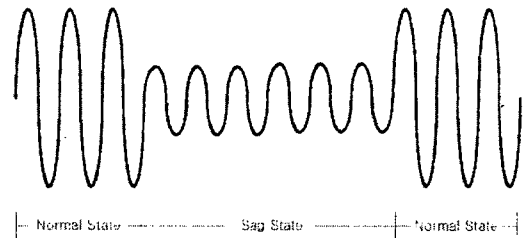


그림 1. 전압강하현상

또한 기기마다 전압강하의 크기와 지속시간에 따른 영향이 다르다. 따라서 이러한 영향을 평가하기 위해서라도 전압강하 시간의 정확한 추정이 이루어져야 한다.

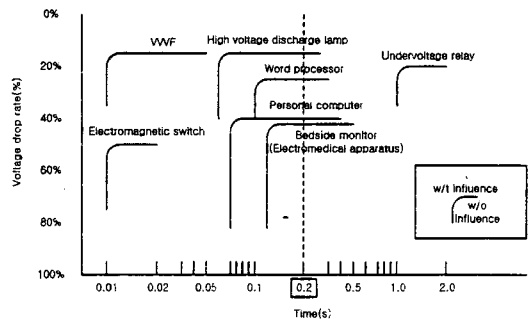


그림 2. 전압강하가 기기에 미치는 영향

본 논문에서도 이러한 전압강하 검출에 대해서 연구를 하였는데 db10 웨이블릿을 이용하여 전압강하를 검출하였다. 이런 전압강하 현상은 기기에 따라 작은 차이에도 민감하기 때문에 정확하게 평가되어야 한다. 또한 더 나아가 경제적 피해가 있어 경제적 가치로도 환산되어야 한다. 따라서 전압강하 현상에 대해서는 정확한 검출이 필요하다. 본 논문에서는 db10의 검출 특성을 이용해서 시작점과 끝점의 평가를 다르게 하고 평균오차 비율을

2.2. 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 마더 웨이블릿의 스케일과 천이과정에 의해서 다양한 기저함수를 생성하기 때문에 시간과 주파수의 정보를 동시에 적절하게 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이 때, 천이과정은 시간 정보를 포함하고, 스케일은 주파수 정보를 포함한다. 웨이블릿의 기본적인 형태는 식 (1)과 같다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

여기서, a 는 주파수정보와 관련된 scale성분을 나타내고, b 는 시간정보와 관련된 shift성분을 의미한다.

웨이블릿 변환은 연속변환과 이산 변환으로 나누어진다. 연속변환은 구현하기에 너무 많은 계산량 때문에 어려움이 있어서 이산 변환을 이용한다. 본 논문에서도 이러한 이산 웨이블릿 변환을 이용하였다.

이산 웨이블릿 변환의 기본적인 형태는 식 (2)와 같다.

$$D_{a_0^m, t} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k s[n] \cdot \psi\left[\frac{k - na_0^m}{a_0^m}\right] \quad (2)$$

여기서, a_0^m 은 스케일 변수이고, na_0^m 은 shift변수이다. $S[n]$ 은 원신호를 나타낸다.

웨이블릿 변환은 신호를 저주파 성분과 고주파 성분으로 나누는데 저주파 성분은 신호의 고유한 특성을 나타내고 고주파 성분은 신호의 미세한 특성을 나타낸다.

웨이블릿 다분해능은 신호를 여러 형태의 고역필터 성분들로 나누기 위해서 웨이블릿 필터 뱅크를 사용한다. 즉, 저역필터를 통해서 얻어지는 신호는 또 다른 두 개의 저역 필터(cAn)와 고역필터(cDn)로 분해되고, 이 저역 필터를 통과한 신호는 다시 두 개의 필터를 분해되며, 이러한 과정은 Detail 성분이 한 개의 샘플로 구성될 때까지 계속 수행된다[1].

원신호는 식(3)과 같이 분해될 수 있다.

$$S = D1 + D2 + D3 + \dots + Dn + An \quad (3)$$

2.3 전압강하 모의를 위한 배전계통 모델

그림 3은 피더가 4개이고 각 피더별로 10MVA 역률 0.9(5MVA-0.9, 4MVA-0.9, 1MVA-0.9)의 부하가 있다. 리콜로저와 2대와 쉐셔닐라이저가 있는 국내의 일반적인 배전계통이다.

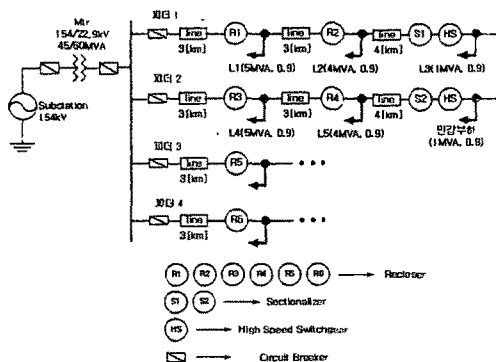


그림 3. 전압강하 모의를 위한 배전계통 모델

피더 1에서 사고가 나고 피더 2에서 전압강하가 발생했다고 가정하였고 128sample/cycle로 샘플링 하였다. 다양한 전압강하를 모의하기 위해서 전압강하의 발생위상을 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120로 각각 모의하였으며, 차단기에 의해서 사고가 차단될 때의 소멸위상을 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120로 모의하였다. 이는 사고 발생 위상에 따라서 전압강하의 형태가 달라지기 때문이다.

2.4 웨이블릿을 이용한 전압 강하 검출

db10 웨이블릿을 이용하여 각각 모의한 파형을 웨이블릿으로 검출하였다. 전압강하파형을 웨이블릿 변환을 하면 시작점과 끝점에서 가장 큰 계수 값이 발생하게 된다. 하지만 시작점 혹은 끝점에서 큰 계수 값이 중복될 수 있으므로 이를 고려하여 평가해야 한다. 다음 표1은 db10을 이용하여 전압강하를 검출한 결과이다. STA. 시작점의 위상, END. 소멸점에서 위상이다.

표1. db10을 이용한 전압강하 검출 결과

Ph	Ph	Sec	Cycle	Sec	Cycle	Sec	Cycle
STA.	END.	발생 시간	오차	소멸 시간	오차	지속 시간	오차
0	10	0.4994	0.0360	0.7500	0.0278	0.2506	0.0082
10	20	0.5003	0.0098	0.7500	0.0556	0.2497	0.0458
20	30	0.5006	0.0196	0.7509	0.0293	0.2503	0.0098
30	45	0.5015	0.0067	0.7509	0.0710	0.2494	0.0777
45	60	0.5021	0.0010	0.7521	0.0407	0.2500	0.0417
60	90	0.5024	0.0227	0.7533	0.0526	0.2509	0.0299
90	120	0.5042	0.0014	0.7548	0.0459	0.2506	0.0473
120	0	0.5057	0.0081	0.7491	0.0540	0.2434	0.0621
10	0	0.5003	0.0098	0.7491	0.0540	0.2488	0.0442
20	10	0.5006	0.0196	0.7500	0.0278	0.2494	0.0082
30	20	0.5015	0.0067	0.7509	0.0016	0.2494	0.0082
45	30	0.5021	0.0010	0.7509	0.0293	0.2488	0.0303
60	45	0.5024	0.0227	0.7521	0.0010	0.2497	0.0237
90	60	0.5042	0.0014	0.7533	0.0307	0.2491	0.0293
120	90	0.5057	0.0081	0.7548	0.0374	0.2491	0.0293
0	120	0.4994	0.0360	0.7491	0.3873	0.2497	0.3513
		평균	0.0131	평균	0.0591	평균	0.0529

지속시간의 오차가 0.05(cycle)정도 존재하는데 이러한 오차를 보정하기 위해서 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 시작점과 소멸점의 검출을 다르게 하는 방법이다.

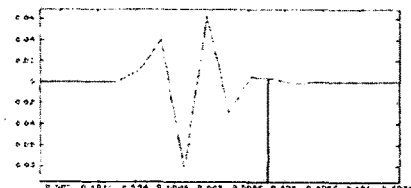


그림 4. 시작점에서의 db10의 웨이블릿 특성

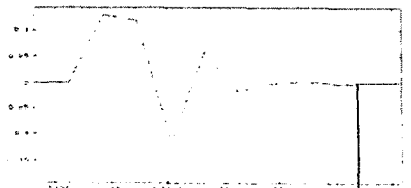


그림 5. 소멸점에서의 db10의 웨이블릿 특성

그림 4, 5에서 보듯이 전압강하가 시작할 때는 db10 웨이블릿 이 형태가 끝나기 전에 주어진 시작점이 존재하고 전압강하가 소멸할 때는 db10 웨이블릿이 형태가 끝난 뒤에 주어진 끝점이 존재한다는 것을 알 수 있다. 따라서 시작점과 끝점을 고려해서 웨이블릿 검출을 해주어야 한다.

표2. 시작점과 소멸점의 검출 특성을 고려한 전압강하 검출 결과

Ph	Ph	Sec	Cycle	Sec	Cycle	Sec	Cycle
STA.	END.	발생 시간	오차	소멸 시간	오차	지속 시간	오차
0	10	0.5000	0.0000	0.7505	0.0008	0.2505	0.0008
10	20	0.5009	0.0262	0.7505	0.0286	0.2496	0.0548
20	30	0.5012	0.0164	0.7514	0.0023	0.2502	0.0188
30	45	0.5021	0.0427	0.7514	0.0440	0.2493	0.0867
45	60	0.5027	0.0370	0.7526	0.0137	0.2499	0.0507
60	90	0.5030	0.0133	0.7537	0.0256	0.2507	0.0389
90	120	0.5048	0.0380	0.7552	0.0189	0.2504	0.0569
120	0	0.5063	0.0441	0.7499	0.0090	0.2436	0.0531
10	0	0.5009	0.0262	0.7499	0.0090	0.2490	0.0352
20	10	0.5012	0.0164	0.7505	0.0008	0.2493	0.0172
30	20	0.5021	0.0427	0.7505	0.0286	0.2484	0.0712
45	30	0.5027	0.0370	0.7514	0.0023	0.2487	0.0393
60	45	0.5030	0.0133	0.7514	0.0440	0.2484	0.0573
90	60	0.5048	0.0380	0.7526	0.0137	0.2478	0.0517
120	90	0.5063	0.0441	0.7537	0.0256	0.2475	0.0697
0	120	0.5000	0.0000	0.7552	0.0189	0.2552	0.0189
		평균	0.0272	평균	0.0178	평균	0.0468

시작점과 소멸점의 검출 특성을 이용하여 검출한 결과 오차가 줄어들었다는 것을 알 수 있다.

각 시작점에서의 위상, 소멸점에서의 위상별로 모의를 하였기 때문에 이 결과의 오차에 대한 평균치는 전압강하 파형의 오차에 대한 평균치라고 할 수 있다.

두 번째 방법은 모의한 값의 오차와 원래 값의 비율의 평균치인 시작점에서는 0.9990, 소멸점에서는 1.0004를 모의한 값에 곱하였다. 이를 통해서 오차를 발생시간은 0.0131(cycle), 소멸시간은 0.0120(cycle), 지속시간은 0.0177(cycle)로 오차를 줄일 수가 있었다.

2.5 웨이블릿을 이용한 전압 강하 검출 알고리즘

어떤 웨이블릿을 이용하여 전압강하를 검출하든지 시작점과 소멸점에서의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 평가를 할 때 시작점에서의 평가 계수와 소멸점에서의 평가 계수를 달리하여 평가하면 웨이블릿을 이용하여 평가할 때 더 정확한 검출을 할 수 있다. 그래서 웨이블릿을 이용한 결과들을 시작점과 소멸점에서의 계수를 달리하여 평가하고 시작점에서는 0.9990, 소멸점에서는 1.0004를 곱해서 오차를 줄이는 것이다.

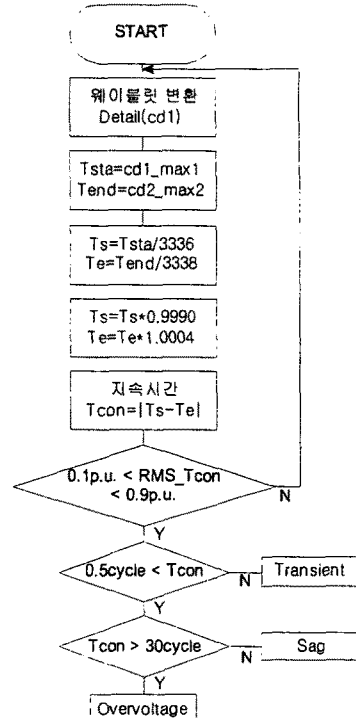


그림 6. 전압강하 검출 알고리즘

3. 결 론

전력품질의 민감한 전자기기의 발달로 인해서 중요한 문제가 되었다. 그중에서 전압강하의 문제는 경제적 피해까지 예상되어 항상 감시되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 전압강하의 검출에 대해서 연구하였다. 웨이블릿 db10을 이용하여 전압강하를 검출하였고 오차를 보정하기 위해서 시작점과 끝점을 db10 검출 특성을 이용해서 다르게 평가하고 비율 평균치를 통해서 오차를 보정하였다. 전압강하 모델링을 PSCAD/EMTDC로 하였고 다양한 Sag를 모의하기 위해서 발생위상 및 소멸위상별로 모의하였다. 그 결과 기존에 비해서 오차가 많이 보정되어 거의 정확하게 검출하고 있음을 보여준다.

감사의 글

이 논문의 연구는 산업자원부 지정 '전력신뢰도/품질 연구 센터'에서의 재정적인 지원을 받아 진행되었습니다. 본 센터에는 경상대, 서울대, 숭실대, 전북대의 교수님들과 대학원생들이 연구원으로 참여하고 있습니다

[참 고 문 헌]

- [1] 김철환, 고영훈, "웨이브렛 변환을 이용한 Voltage Sag 검출", 전기학회논문지, Vol. 49A, No. 9, 2000, 9
- [2] A.C. Parson, W.M. Grady, E.J. Powers, "A Wavelet-Based Procedure for Automatically Determining the Beginning and End of Transmission System Voltage Sags", IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, Vol. 2, No. 31, pp. 1310-1315, Jan. 1999
- [3] A.K. Ghosh, "The classification of power system disturbance waveforms using a neural network approach", IEEE trans. Vol. 10, No 1, Jan. 1995
- [4] Jurado, F. Cano, A. "Discrimination between transient voltage stability and voltage sag", 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 2, pp. 670-675, 2002.