

계통 전압의 고정밀 계측에 관한 연구

이상혁, 임상길, 이상훈*, 강필순**, 조수억***, 박성준
 전남대학교, 한국승강기대학*, 한밭대학교**, 서일대학교***

A Study of High Accuracy Measurement for Grid Voltage

Sang Hyeok Lee, Sang Gil Im, Sang Hun Lee*, Feel Soon Kang**, Su Eog Cho***, Sung Jun park
 Chonnam National university, Korea Lift College*, Hanbat National University**, Seoil University***

ABSTRACT

본 논문에서는 신재생 에너지를 전력 계통에 효율적으로 연계시키기 위한 요소 기술로 Filter 대신 DFT 기법을 사용한 고정밀 계측에 대해 제안한다. 일반적으로 Filter를 사용할 경우 원신호의 위상 지연, 크기 감소 같은 신호 왜곡으로 정확한 제어가 어려우나, 제안된 DFT 기법을 사용하면 기존 문제점을 해결 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안된 DFT 기법은 PSIM을 이용한 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성과 우수성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 환경오염 문제와 화석에너지 고갈, 원자력 발전의 안정성은 세계적으로 큰 이슈가 되고 있다. 무한한 청정에너지인 신재생 에너지는 미래 성장 산업으로 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있으며, 신재생 에너지에서 생산된 전력을 계통에 효율적으로 연계하기 위한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 신재생 에너지에서 생산된 전력을 계통에 효율적으로 연계하기 위해서는 인버터 제어에 앞서 정확한 계통 전압과 전류 그리고 위상을 계측해야 한다. 일반적으로 정확한 계측을 위해 Filter를 사용하여 불필요한 고조파와 노이즈를 제거하지만 원신호의 크기 감소, 위상 지연으로 정확한 신호를 검출할 수 없어 제어에 어려움을 갖게 된다. 이에 따라 본 논문에서는 DFT 알고리즘을 적용하여 고정밀 계측을 적용함으로써 효율적인 계통 연계를 구현하고자 한다.

2. 이산푸리에 변환

이산신호를 푸리에 변환하는 이산푸리에 변환 DFT (Discrete Fourier Transform)는 N개의 이산신호 $x[n]$ ($n=0,1,2,\dots,N-1$) 이 주어질 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 회전인자 $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ 은 복소평면의 단위원을 N 등분한 점들로 이루어지며, Euler 공식에 의해 전개하면 식 (2)와 같다.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j(\frac{2\pi}{N})kn} \\ = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] [\cos(\frac{2\pi kn}{N}) - j\sin(\frac{2\pi kn}{N})] \quad (2)$$

(2)

식 (2)에서 $X[k]$ 는 실수부와 허수부로 구성되며, 다음과 같이 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$ReX[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos(\frac{2\pi kn}{N}) \quad (3) \\ ImX[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \sin(\frac{2\pi kn}{N})$$

즉, DFT는 연속적인 신호를 샘플링하고 이산 주기 신호를 이용하여 푸리에 변환하면 식 (3)과 같이 직교 형태로 표현되며, 반대로 $X[k]$ 로부터 원신호 $x[n]$ 으로 복원하고자 할 때는 식 (4)와 같이 이산푸리에 역변환(IDFT)을 이용하며 된다.

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] W_N^{-kn} \quad (n=1,2,\dots,N-1) \quad (4)$$

(4)

실제 계통에는 기본파뿐만 아니라 다양한 고조파가 포함되어 있다. 이러한 고조파 왜형률(THD)는 5[%]이하가 되어야 하며 각 고조파에 전압 레벨은 표 1과 같다.^[1,2]

표 1 계통의 고조파 전압 레벨
 Table 1 Harmonics Voltage Level of Grid Voltage

전압	왜형률	기수 고조파	우수 고조파
415 [V]	5 [%]	4 [%]	2 [%]
6.6 [kV]	4 [%]	3 [%]	1.75 [%]
33 [kV]	3 [%]	2 [%]	1 [%]
132 [kV]	1.5 [%]	1 [%]	0.5 [%]

[IEEE 519 기준]

신재생 에너지를 계통에 연계하기 위해서는 계통에 대한 전압·전류를 정확히 검출해야 하며, 인버터를 통해 계통과 동일한 전류를 출력하여야 한다. 이 전류는 계통의 기본파뿐만 아니라 고조파를 포함하여야 하지만, Filter를 사용할 경우 크기 감소 및 위상 지연으로 계통과 동일한 전류를 생성하기 어렵다. 이에 본 논문에서는 DFT를 이용하여 계통의 기본파와 고

조파들을 크기 감소나 위상 지연 없이 복원함으로써 효율적인 계통연계를 위한 고정밀 계측을 구현하고자 한다.

3. 시뮬레이션

계통의 기본파와 고조파를 구현하기 위해서 PISM에서 제공하는 Sinusoidal Voltage Source를 그림 1과 같이 직렬로 연결하여 구현하였다.

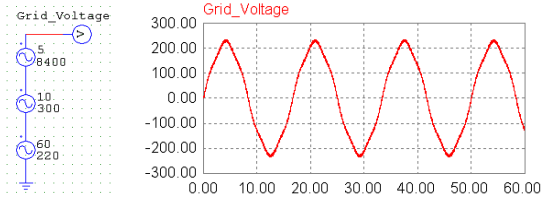


그림 1 고조파를 포함한 계통 전압
Fig. 1 Grid Voltage including harmonics

PSIM에서 제공하는 FFT 함수를 이용하여 기본파와 60Hz에 대한 파형 크기(Amplitude)와 위상(Phase)은 그림 2와 같다.

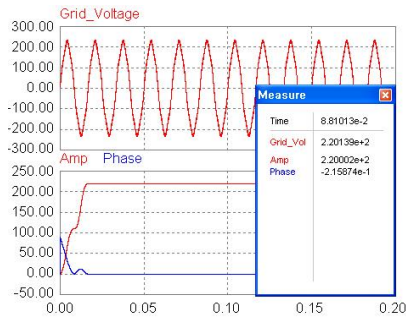


그림 2 FFT를 이용한 파형의 크기와 위상
Fig. 2 Waveform Amp & Phase using FFT

그림 3은 PSIM에서 제공하는 DLL 함수를 이용하여 DFT 수식을 프로그래밍하여 파형의 크기와 위상을 출력한 파형으로 그림 2와 동일한 출력 파형임을 확인할 수 있다.

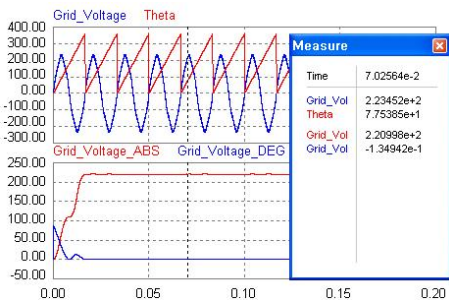


그림 3 FFT를 이용한 파형의 크기와 위상
Fig. 3 Waveform Amp & Phase using FFT

또한 파형의 크기와 위상값을 이용하여 IDFT 알고리즘으로 원신호로 복원 가능하다. 복원한 파형은 그림 4와 같다.

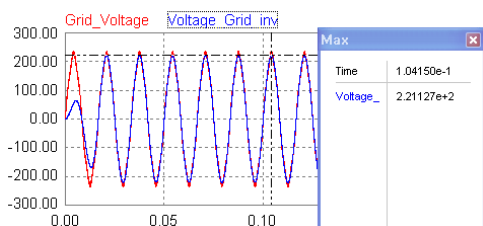


그림 4 IDFT를 이용한 파형 복원
Fig. 4 Waveform Restoration using IDFT

4. 실험

실제 3상 선간전압을 TMS320F28335에 DFT 알고리즘 적용하여 그림 5와 같이 기본파와 고조파를 추출하였다. 고조파의 경우 크기가 작아 10배 증폭한 파형이다.

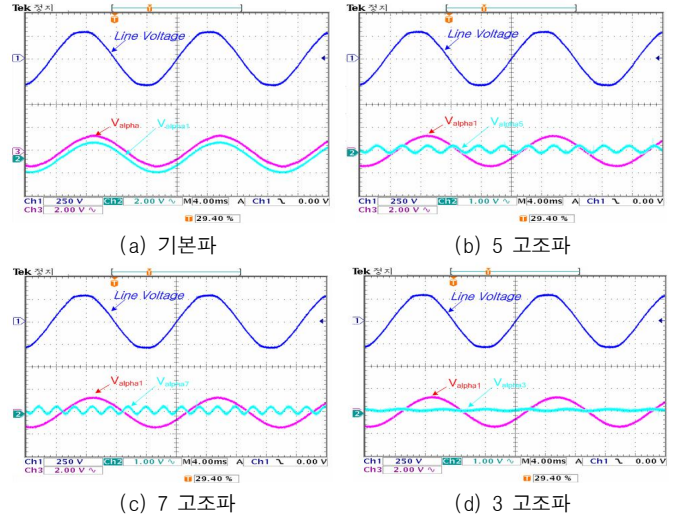


그림 5 선간 전압의 기본파와 고조파 추출
Fig. 5 Extraction of the line voltage fundamental and harmonics

계통과 인버터를 동일한 부하에 연결 시 전류 파형은 그림 6(a)와 같이 동일하며, 계통 연계를 하였을 경우는 그림 6(b)와 같이 전류는 0에 가깝게 된다.

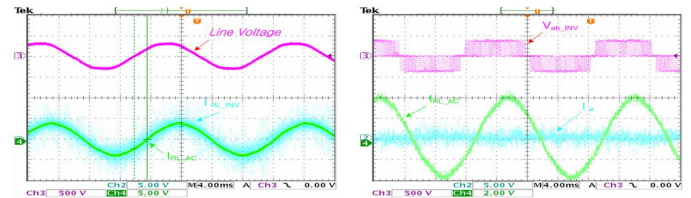


그림 6 파형의 기본파와 고조파 추출
Fig. 6 Waveform Restoration using IDFT

5. 결론

본 논문에서는 Filter 사용 시 발생하는 문제점을 해결하고자 DFT 알고리즘을 제안하였다. 더불어 계통에 포함된 기본파와 고조파를 추출하고 주파수 합성함으로써 효율적인 계통 연계 구현을 도모하였으며, 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 DFT 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 (주)삼성전기 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] 김윤서, 양오, "DFT 알고리즘을 이용한 PLL의 순시 추종", 대한전자공학회, 전자공학 논문지 SC, 제45권 제6호, pp.141-148, 2008.11
- [2] 김재형, 지용혁, 원충연, 정용채, "개선된 DFT를 이용한 위상 추종방법", 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, pp.91-93, 2008.6,