

소규모 분산전원의 계통연계를 고려한 보호계전에 관한 연구

고연성*, 이종수*, 이복구**, 신명철*
 성균관대학교*, 영지전문대**

Research on the Protective Relay considers the Power System interconnected to small scale Distributed Generation.

Yeon-Seong Ko*, Jong-Su Lee*, Bock-Ku Lee**, Myong-Chul Shin*
 SungKyunKwan University*, MyongJi College**

Abstract - 소규모 풍력에너지, 연료전지 및 태양에너지 등의 신 재생 에너지원들이 소규모 분산전원으로 도입되고 있다. 이로 인해, 수용가 측의 전원이 대규모 전력사업자로부터만 공급 받던 시스템방식에서, 분산전원과 연계하여 동시에 사용하는 방식으로 바뀌고 있다. 이러한 분산전원이 계통에 도입될 경우 이로 인해 평상시 기존 계통의 보호방식에 미치는 영향의 경우는 상시전압변동, Flicker, 병렬열로 인한 순시전압변동, 고조파, 불평형 등이 고려 될 수 있다. 또한 이러한 경우로 인해 보호계전기의 오동작도 초래 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 태양광시스템을 분산전원으로 하는 연계 계통을 모델링하여 발생하는 파형에 대해 분석한다. 또한 디지털 보호계전기의 디지털 필터링 기법을 비교하여 빠른 연산 속도와 주파수 응답 특성을 가지는 알고리즘을 선정하고 모델링하여 모델링 된 디지털 필터로 분산전원 연계를 통해 얻어진 파형을 필터링 한다. 본 논문에서 분산전원의 계통 모의는 전력계통에 모의에 높은 신뢰성을 가지는 PSCAD/EMTDC를 기반으로 하였으며, 디지털 보호계전기의 디지털 필터 알고리즘 모델링은 MATLAB을 사용하였다.

1. 서 론

지구환경문제에 대한 사회적인 관심이 고조되면서 2010년에 온실효과 가스 방출량을 교도의정서의 삭감레벨로 억제하기 위해 각 국 정부는 친환경에너지원인 분산전원의 연구에 많은 투자를 하고 있다. 분산전원의 전력계통 연계운전은 전압유지, 손실감소, 용량증가, 신규기반시설 투자 비용억제 및 계통신뢰성 증대 등의 장점이 많아 주로 해외 선진국들을 중심으로 태양광과 풍력발전 방식이 급속히 확산되고 있으며, 또한 각 정부에서도 정책적으로 보조금 지급과 잉여전력의 고가매입 등으로 분산전원정책을 지원하고 있다. 하지만 다른 한편으로는 전압조정, 전압변동에 따른 플리커, 고조파, 그리고 단독운전과 같은 문제점 또한 동시에 가지고 있어 이에 대한 연구가 많이 필요한 상황이다[1-3]. 이러한 상황에서 안전운전을 도모하고 사고를 신속히 검출하여 고장부분을 제거, 계통의 안전운전을 확보하는 등의 중요한 기능을 수행하는 디지털 보호계전기는 분산전원이 계통과 연계된 변화된 계통에서는 정확한 작동에 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 소규모 분산전원의 계통 도입을 고려한 디지털 보호계전에 관하여 고찰한다.

본 논문은 구성은 첫째, 디지털 필터 기법의 비교를 통해 계통 연계화에 최적의 작동을 할 수 있는 디지털 보호계전 알고리즘을 선정하였다. 또한 선정된 알고리즘을 MATLAB를 사용하여 구현하였다.

둘째, PSCAD/EMTDC를 기반으로 하여 태양광시스템을 모델링 하였으며, 이들을 계통과 연계하여 소규모 분산전원 시스템을 구성하였다.

셋째, 구성된 소규모 분산전원 시스템의 시뮬레이션을 모의하여 그에 따른 파형을 분석하고, 구현된 디지털 필터기법으로 필터링한 후 파형을 분석하였다.

이러한 과정을 통하여 분산전원의 계통연계시 디지털보호계전기의 오동작을 방지할 수 있는 최적의 디지털필터 알고리즘에 대하여 고찰해보았다.

2. 디지털 보호계전기에서 디지털 필터

2.1 디지털 필터 기법 비교

일반적인 고장이나 개폐 또는 변압기보호인 경우 여자돌입 등에 의한 과도상태의 계전신호는 계통의 시정수에 따라 고조파 성분과 DC-offset 성분이 포함되어 심하게 왜곡된다. 그러므로 계전기는 정확한 트립 결정을 하기 위하여 연산이 간편하고 효과적인 필터 알고리즘의 설계가 필요하게 된다.

우선 변성기에 의하여 ±5~±10[V]로 변환된 계전신호는 아날로그 저역통과 필터를 통과하여 디지털 신호로 변환하는 과정에서 발생하는 중첩을 방지하고 계전기의 입력신호에 포함된 높은 고조파대역의 성분이 제거된다. 이때 저역통과 필터의 차수는 가능한 시간지연이 적도록 낮추되

주 계전 알고리즘의 특성에 따라서 효과적으로 설계한다. 디지털 신호로 변환된 계전신호는 계전기의 CPU에서 내장된 디지털 필터를 근간으로 한 계전 알고리즘에 의하여 연산 및 보호기능 등이 수행된다. 그러므로 디지털 계전기의 속도와 신뢰성은 적절한 디지털 필터의 설계에 의존한다고 할 수 있다.

기본과 성분을 추출하기 위한 필터기법의 종류에는 이산 푸리에 변환(Fourier transform:DFT)필터, 블록펄스함수(Block Pulse Function:BPF)필터, 이산 하틀리 변환(Discrete Hartley Transform :DHT)필터, 이산 윌쉬 변환(Discrete Walsh Transform:DWT:WAL)필터, Haar함수필터, 유한 임펄스 응답(Finite Impulse Response: FIR)필터 등이 있다. 서술한 각 디지털 필터를 Z변환하여 주파수 응답특성을 비교하면, Haar함수, Walsh함수, BPF필터 등은 고조파 제거성능과 특정주파수 성분 추출에 대한 크기 이득이 양호함을 알 수 있다. 대체적으로 근사화 과정에서 필연적으로 오차가 포함된다. 또한, 연산속도 및 샘플링 수의 제약성 항목을 검토한 결과 Walsh함수와 Haar함수 필터의 경우는 각각의 계수를 구한 뒤 관계행렬로부터 푸리에 계수를 구하기 때문에 모든 샘플링 수에 대한 일반적인 연산수를 구할 수 없으며, 2중적인 연산이 필요하기 때문에 샘플링 수가 증가할수록 연산부담이 매우 증가되는 단점이 있다. 표3.2은 결론적으로 나온 디지털 필터의 비교표이다[4].

<표 1> 디지털 필터의 비교표

필터종류	주파수 응답특성	기본과 추출시 연산수		연산속도	샘플링수
		가 산	승 산		
DFT	1(우수)	(N-3)×2	((N/4)-1)×2	3	용이
BFT	4	(N-1)×2	(N/4)×2	4	용이
DHT	5	(N-3)×1	((N/4)-1)×1	2	용이
DWT	6	계수선정시 연산수 다량 표시곤란		5	2 ^N 제약
Haar	2	계수선정시 연산수 다량 표시곤란		6	2 ^N 제약

2.2 디지털 필터의 알고리즘 모델링

각 디지털 필터를 비교한 결과 주파수 응답 특성의 경우는 DFT 필터가 가장 우수하였고, 연산속도의 경우 FIR 필터의 경우가 가장 빠름을 알 수 있었다. 이에 본 논문에서는 FIR 방식에 DFT연산을 수행한 필터를 구현하였다. 구현된 DFT 알고리즘의 복소평면의 유효성분과 무효성분의 계산은 다음과 같다.

$$Z_{r_k} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r} \cos \frac{2\pi r}{N} \quad (1)$$

$$Z_{i_k} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r} \sin \frac{2\pi r}{N} \quad (2)$$

여기에서 Z₋₁, Z₋₂, ..., Z_{-(N-1)} 이 0이고 N은 한 사이클 당 샘플수이다. 식(1),(2)에서도 알 수 있듯이 Z_{r_k}와 Z_{i_k}의 직접계산은 각 샘플마다 2N의 multiplicaton이 필요하다. 위의 식을 귀환적 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$Z_{r_k} = Z_{r_{k-1}} + \frac{2}{N}(z_k - z_{k-N}) \cos \frac{2\pi r}{N} \quad (3)$$

$$Z_{ik} = Z_{i,k-1} + \frac{2}{N}(z_k - z_{k-N})\cos\frac{2\pi r}{N} \quad (4)$$

또한 페이지에서의 RMS의 크기 Z_{1s} 와 페이지 각 θ 은 다음과 같이 구할 수 있다[5].

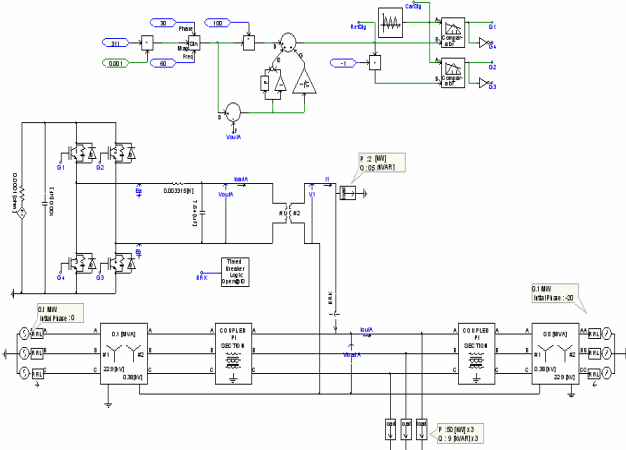
$$Z_{1s}^2 = \frac{Z_r^2 + Z_i^2}{2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Z_i}{Z_r}\right) \quad (6)$$

위의 DFT 알고리즘 수식을 기반으로 FIR 방식에 DFT연산을 수행하는 디지털 필터를 MATLAB을 이용하여 모델링 하였다.

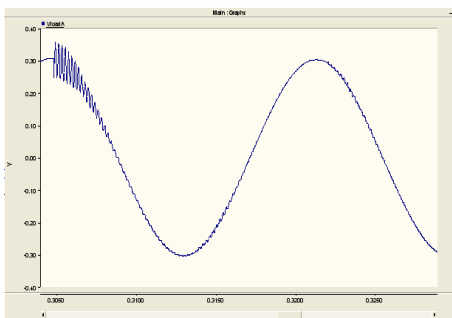
3. 분산전원 모델링

분산전원의 모델링은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 계통에 태양광 분산전원을 연계하는 형식으로 시뮬레이션 하였다.



〈그림 1〉 분산전원 시뮬레이션

그림 2는 위의 분산전원의 시뮬레이션 결과로 분산전원의 계통 연계 시 노이즈가 발생함을 보여준다.



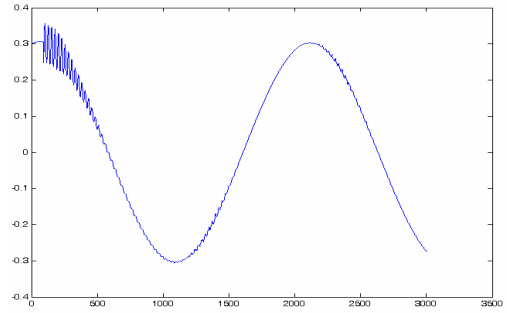
〈그림 2〉 계통 연계시 발생 파형

그림 2에서 얻은 데이터에 구현한 디지털 필터를 적용해 필터링 해 보았다.

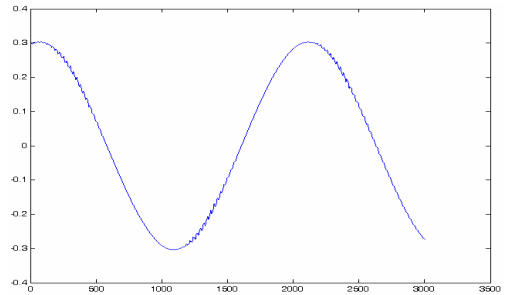
4. 구현한 필터를 통한 필터링 결과

위 분산전원의 시뮬레이션 결과로 얻은 데이터를 토대로 하여 새로 구현한 디지털 필터를 이용해 필터링 해 보았다. 그림3은 PSCAD/EMTDC로 얻은 데이터를 그대로 MATLAB으로 샘플링 한 화면이고, 그림 4는 구현된 DFT필터로 필터링 후에 파형이다. 그림4 에서 보는

바와 같이 필터링을 수행한 후 파형의 노이즈와 고조파 성분이 제거 되어 있음을 알 수 있다.



〈그림 3〉 필터링 전 파형



〈그림 4〉 필터링 후 파형

5. 결 론

본 논문에서는 디지털 보호계전기에 사용되는 여러 디지털 필터 기법을 비교하였다. 그리고 비교된 결과에 따라 주파수 응답특성이 가장 우수한 DFT 필터에 연산속도가 가장 빠른 FIR 기법을 접목시켜 FIR 환경의 DFT필터를 구현하였다. 구현된 필터는 그 특성을 고찰한 결과 고조파 제거에 우수한 특성을 보이며 FIR 환경으로 연산속도도 빨랐다. 또한 차후 하드웨어로 구성 시 감산기와 승산기를 최소화 할 수 있다는 장점도 확인 하였다.

본 논문에서 제시한 필터 알고리즘은 차후 하드웨어로의 개발에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 중 소규모 전력시스템용 디지털 보호계전기의 필터 알고리즘으로도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Arindam Ghosh, Gerald Ledwich, "Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices" Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] 박지웅, 김종형, 신명철, "분산전원의 전력계통연계에 따른 영향 및 시뮬레이션" 대한전기학회 전력기술위원회 추계학술대회 논문집 pp. 280-282, 2002. 11.
- [3] 正田 英介 浜 "분산형전원의 현상과 장래동향(分散型電源の現状と將來動向)" 도쿄 이과대학, 전기평론 2003. 10
- [4] 신명철 "디지털 보호계전기의 기술동향과 전망" 韓國電氣工事協會 1996-1997
- [5] 기초전력연구원 최종 보고서 "디지털 보호계전기용 ASIC 설계기술 개발." 2004.9월 pp25,26 산업자원부
- [6] N. Jenkins, R.Allan, P.Crossley, D. Kirschen and G. Strbac, "Embedded Generation". Pp.1~64, 2000.E.D. Sunde, "Earth Conduction Effects in Transmission System", 2nd edition, Dover Publications, new york, 1968
- [7] Murty V.V.S Yalla, Member IEEE "A DIGITAL MULTIFUNCTION PROTECTIVE RELAY."Transactions on Power Delivery Delivery, Vol.7 No.1 January 1992