

PSCAD/EMTDC를 이용한 분산전원의 계통연계 운전 특성 분석

◦ 장성일*, 박준식*, 김광호*, 박종근**, 김재언***
* 강원대학교 전기공학과, ** 서울대학교 전기공학부, *** 충북대학교 전기공학과

Research on Operational Characteristics of Power Distribution System with Distributed Resources Using PSCAD/EMTDC

◦ S. I. Jang*, J. S. Park*, K. H. Kim*, J. K. Park**, J. E. Kim***
* Kangwon National University, ** Seoul National University, *** Chungbuk National University

Abstract - This paper presents the modeling and simulation studies, using PSCAD/EMTDC, for the operation of DR(Distributed Resources) connected to the power system. In this study, we model the DR operated in parallel with the distribution system and simulate several operation modes of DR. Finally, the transient characteristics of the operation modes are evaluated with IEEE Standard 519-1992, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems

1. 서 론

현대 사회가 급격히 고도 정보화 사회로 변화됨에 따라, 수용가는 보다 안정적이고 좋은 품질의 전력 공급을 요구하고 있다. 그러나 수요증가에 대응하여 안정적으로 전력을 공급하는데 있어서 그 선결조건인 전원건설은 현재 환경문제, 지역민원 등에 따라 이전보다 더욱 어려워지고 있는 것이 현실이다. 이에 가장 적절한 해결방법이 될 수 있는 분산전원에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 배전시스템에 연계되어 운용되는 분산전원은 그 형태가 태양광, 연료전지, 풍력, 열병합 등 환경친화적인 소규모의 시스템이기 때문에 대용량의 전원건설에서 발생하는 많은 문제를 해결할 수 있으리라 보여진다. 이러한 중요성에 따라 본 연구에서는 분산전원을 배전시스템에 연계 운전할 경우에 나타나는 다양한 특성을 PSCAD/EMTDC로 모델링하여 분석하였다.

분산전원은 배전시스템에 연계되어 운전되거나, 배전시스템의 사고시 단독으로 부하에 전력을 공급하도록 운전된다. 일반적으로 분산전원의 단독/연계 운전 변환시에는 부하측 전압, 전류에 고조파 발생과 같은 과도 현상이 발생하게 된다. 또한 단독운전에서 연계운전으로 전환할 경우에는 계통측과 분산전원의 전압크기 및 위상을 일치된 상태에서 전환이 이루어져야 되기 때문에 이를 고려한 제어기법이 요구된다.

본 논문에서는 과도 현상 해석프로그램인 Workstation용 PSCAD/EMTDC를 이용하여 배터리와 인버터, 변압기, 고조파 제거 필터, 차단기로 구성된 분산전원 시스템을 모델링하였으며 제안된 모델링을 통해, 분산전원의 단독/연계 운전시 및 부하의 급격한 증가시 계통에서 나타나는 현상을 모의 하였고, 이때의 전압, 전류 과도현상을 분석하여 그 결과를 외국의 고조파 및 과도 현상에 대한 허용 기준치와 비교 하였다.

2. PSCAD/EMTDC를 이용한 DR시스템 모델링

2.1 분산전원 시스템의 일반적 구조

계통에 연계되어 배전시스템으로 전력을 공급하는 분산전원 시스템은 에너지원인 분산전원, 분산전원에서 만들어진 전력을 전압의 형태로 저장하는 battery, DC 전압을 AC전압으로 변환시켜주는 인버터, 인버터에서

발생하는 고조파를 제거하기 위한 필터, 상용전원 전압으로 승압시키기 위한 변압기, 분산전원 시스템을 배전계통에 연계/절체를 위한 차단기로 이루어져 있다. 아래 그림 1은 분산전원 시스템의 일반적인 구조를 나타내고 있다.

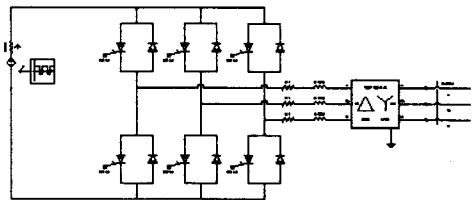


그림 1. 분산전원 시스템

A. Battery를 포함한 DR 모델링

태양광은 자연의 에너지를 이용하여 DC전압을 생산하는데 기후조건에 큰 영향을 받고, 연료전지는 전기화학적 반응으로 DC 전압을 생산하며, 풍력, 열병합 등은 AC전압을 생산한다. 따라서 본 논문에서는 상용전원의 정전시에도 계속적인 전력을 수용가에게 공급하기 위하여 battery를 포함하는 DR을 DC 전압원으로 모델링하였다. 시간에 따라 전압원을 변화(1.4~ 1.5(kv))하도록 모델링하여 battery의 충·방전을 나타냈다. 또한 분산전원은 수용가로 전력을 계속적으로 공급하는 것으로 가정하였다.

B. 인버터 모델링

DC를 AC로 변환하기 위하여 SPWM(Sine Pulse Width Modulation) 기법을 이용한 인버터를 모델링하였다. carrier frequency는 2160(Hz), 최대값과 최소값이 각각 1과 -1을 갖는 삼각파이며, reference signal로는 60(Hz)의 sine파를 설정하였다. 그리고 외부에서 turn on/off가 가능한 GTO와 과도전류에 의한 충격을 방지하고자 스너버 저항 및 커패시터를 구성하였고, 부하의 인덕턴스에 축적된 전류에너지 순환용으로서 Freewheeling 다이오드를 설치하였다.

C. 필터, 변압기 및 차단기 모델링

DC전압을 AC전압으로 인버팅을 할 경우 gate의 turn on/off시 발생된 고조파를 제거하기 위하여 R,L로 구성된 필터를 구성하였다. 필터는 통상 L,C로 구성되는데, 부하변화시 impedance scaling으로 L,C를 새로 계산해야 하기 때문에 손실은 발생하지만 부하변화에 계속적으로 원하는 고조파를 제거하도록, R,L로 구성하였다. 상용전압으로 승압시키기 위한 Δ -Y 결선의 변압기와 연계 및 절체용 차단기를 설치하였다.

2.2 22.9 (kV) 배전계통

상용전원을 단락용량이 100(MVA), ACSR 160mm²과 1800mm 길이의 완금이 설치 되었으며, 1회선용의

데이터를 사용하여 모델링 하였다. 그리고 한 배전선에서 담당할 수 있는 부하는 최대 10 [MVA] 22.9 [kV] 배전계통을 선택하였다. 배전선의 총연장은 5[km]이며, 그림 2에서 보는 것과 같이 역률이 95%를 가진 부하를 배전시스템에 분산적으로 연결하였다

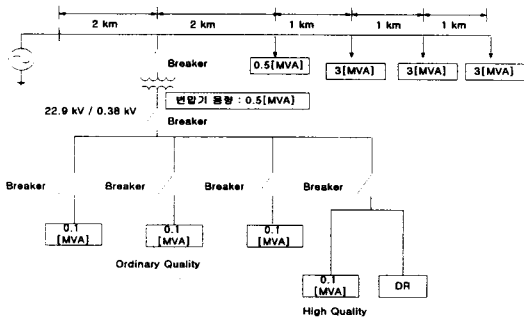


그림 2. DR이 설치된 배전계통도

3. 인버터 출력 제어기법

3.1 전압위상 제어기법

분산전원을 계통에 연계시킬 때 과도현상을 제거하기 위하여 그림 3과 같은 위상제어 controller를 설계하였다. DR 전압위상과 상용전원의 위상과의 차이를 구하고, 이를 PI 제어기를 거쳐 출력을 내보낸다. 출력된 위상은 인버터의 시점으로 선택되어 DR 전압위상을 계통전원의 위상과 일치하도록 조절을 한다.

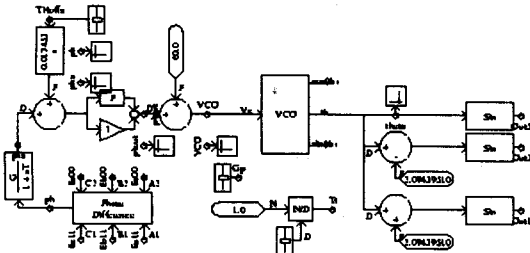


그림 3. 위상제어 controller

3.2 전압크기 제어기법

분산전원의 DC전압은 외부조건에 따라 변화를 하게 되는데, 전압의 변화가 배전시스템에 파급되는 것을 방지하기 위하여 그림 4와 같은 전압제어 PI controller를 구성하고, 인버터의 reference signal를 제어함으로써 인버터의 출력전압이 계통의 전압과 같도록 한다. TT1, TT2는 계통에서 얻은 실효치의 전압, M은 modulation index의 역할을 한다.

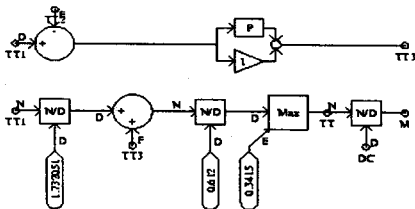


그림 4. 전압제어 controller

4. Simulation 및 결과

4.1 분산전원의 단독운전 및 연계운전

분산전원이 계통에 연계 될 때 과도현상을 감소시키기

위하여 인버터의 전압크기와 위상을 제어하여 계통에 투입을 하게 된다. 단독운전과 연계운전의 sequence는 그림 5와 같다

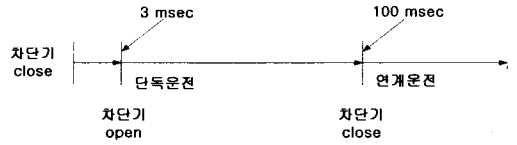


그림 5. 단독운전 및 연계운전 sequence

A. 인버터 출력전압 및 Reference Signal

Reference signal의 크기를 변화시키면 gate의 turn on/off 시간이 조절되어 인버터의 출력이 조정된다. 그림 6은 필터 전단의 인버터 출력을 나타내며, 그림 7은 시간에 따라서 변화하는 분산전원의 DC 출력과 이로 인한 reference signal의 변화를 나타내었다.

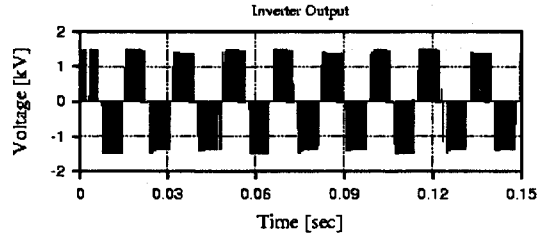


그림 6. 인버터 출력전압

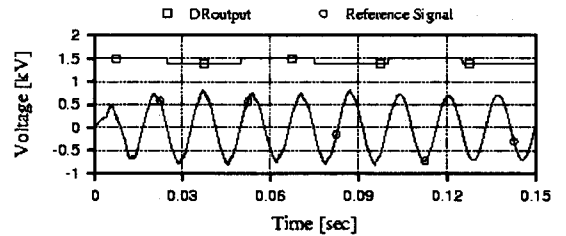


그림 7. 분산전원 출력 및 reference signal

B. 위상제어 및 전압제어

그림 8,9는 각각 인버터의 위상제어와 전압제어 결과를 나타내고 있다. 위상오차는 0.04 radians 까지 증가후 감소하며, 전압오차는 0.6[V]에서 0.4[V] 사이에서 크기차이가 발생하는데 이는 차단기에 저항이 존재하기 때문에 생긴다.

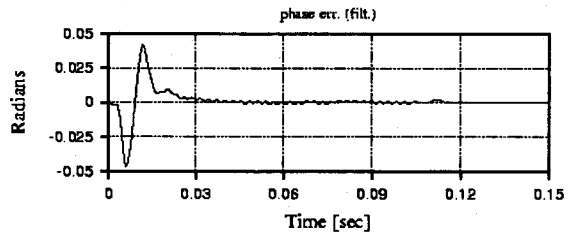


그림 8. 전압 phase error

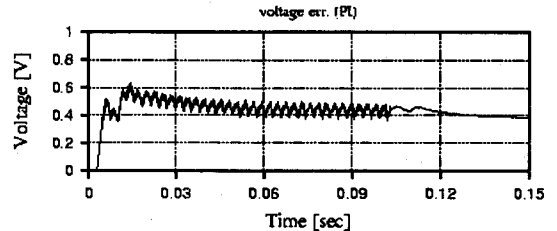


그림 9. 전압 amplitude error

C. 부하전압 및 전류파형

그림 10, 11은 각각 부하에 인가되는 전압과 전류를 나타낸 그림이다. 분산전원 단독운전시 계속해서 고조파가 포함된 전압을 발생시키고, 연계운전시 분산전원에 비하여 용량이 큰 용량의 계통전압이 동시에 인가되므로 부하전압에서 고조파가 사라지게 된다. 부하전류는 고조파의 양이 전압에 비해 매우 작으며, 마찬가지로 연계운전시 부하전압과 같은 특성을 나타낸다.

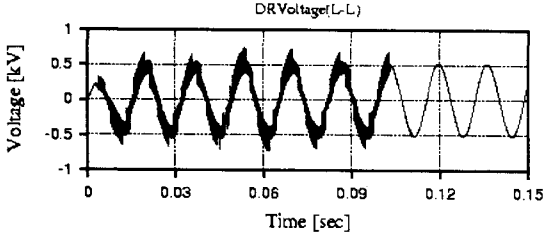


그림 10. 부하전압

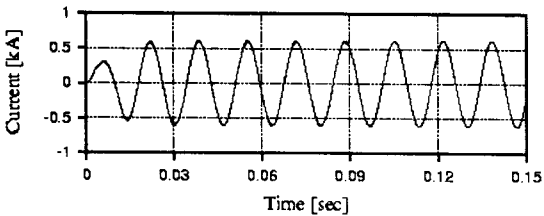


그림 11. 부하전류

D. 전압 및 전류 THD

그림 12는 분산전원이 단독, 연계운전시 전압, 전류의 THD를 시간에 따라 나타내었다. 단독운전에서 전압, 전류는 각각 5.5%, 1%의 고조파를 포함한다. 외국의 고조파 기준(THD = 5%)에 전류는 부합이 되지만 전압은 0.5%가 초과함을 볼 수 있다.

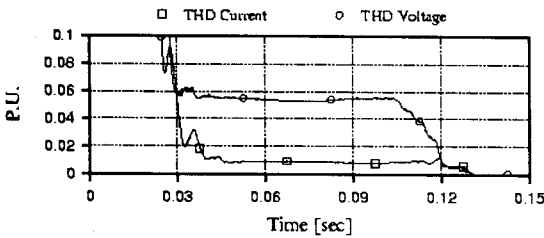


그림 12. 전류, 전압 THD

4.2 부하증가

분산전원이 담당하고 있는 95%의 역률을 가진 부하가 0.1(MVA)에서 0.08(MVA)로 감소하고, 일정시간 후 다시 0.1(MVA)로 증가하도록 부하변화를 모의하였다.

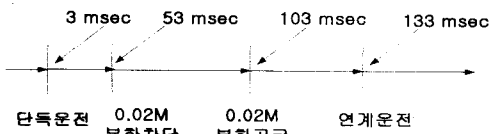


그림 13. 부하변화 sequence

A. 부하전압 및 전류 파형

부하 변화시 전압 변화는 크지 않고, 부하전류는 그림 15에서와 같이 큰 변화가 있다. 여기서 부하전류의 크기는 변화하지만 정현파적인 특징은 변화하지 않으므로 고조파의 발생이 적다.

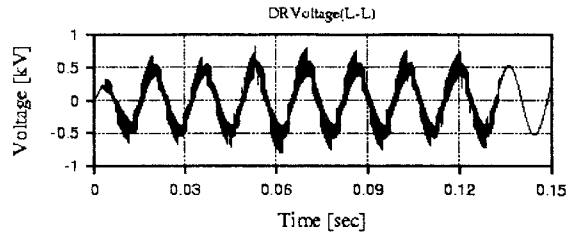


그림 14. 부하전압

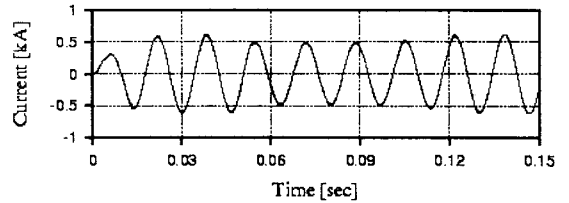


그림 15. 부하전류

B. 전압 및 전류 THD

부하 변화시 전압 과도상태의 고조파가 8%까지 증가하였다가 다시 5.5% 까지 감소한다. 또한 전류도 과도상태시 8% 까지 증가 하였다가 다시 감소한다. 과도 상태시 외국의 고조파 허용 기준보다 5%정도 높아진다. 그러나 과도 상태가 1.5주기정도 지속되었다가 다시 원래의 크기로 감소한다.

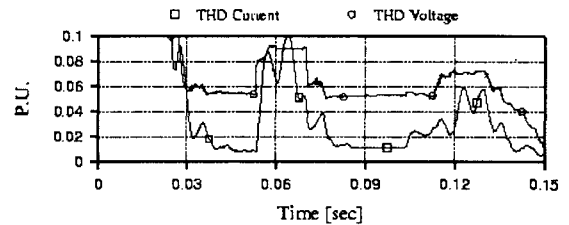


그림 16. 전류, 전압 THD

3. 결 론

본 논문에서는 과도현상 해석프로그램인 Workstation용 PSCAD/EMTDC를 이용하여 배터리를 포함한 분산전원과 인버터, 변압기, 필터 및 차단기로 구성된 분산전원 시스템을 모델링 하였다. 그리고 계통의 과도상태를 감소시키기 위하여 전압크기 및 전압위상을 제어하는 controller를 구성하였다.

본 연구에서는 제안된 모델링을 통해, 분산전원의 단독/연계 운전 및 부하의 급격한 변화시 계통에서 나타나는 현상을 모의하였고, 이때의 전압 전류 과도현상을 분석하여 그 결과를 외국의 고조파 및 과도 현상에 대한 허용 기준치와 비교하였다. 본 논문의 연구 결과는 향후 분산전원이 배전시스템에 투입될 시 운전전략이나 보호 알고리즘 생성에 유용하게 이용이 될 수 있다.

(참고 문헌)

- [1] Chihchiang Hua, "Implementation of a DSP - Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking", IEEE Trans., Vol. 45, No. 1, February 1998.
- [2] Robert Rynkiewicz, "Discharge and Charge Modeling of Lead Acid Batteries", IEEE 1999
- [3] Wajiha, "An Utility Interactive Power Electronics Interface For Alternate/Renewable Energy Systems", IEEE/PES Winter Meeting, January 1996