

3상 태양광발전시스템의 계통연계운전 해석

김우현, 김창일, 김봉태, 유인근
 창원대학교, 남해전문대학

Analysis of 3 phase utility interactive photovoltaic power generation system

Klm Woo-Hyun, Kim Chang-il, Kim Bong-Tae, Yu In-Keun
 Changwon Nat'l Univ., Namhae provincial college

Abstract -

This paper presents a model and analysis results of 3 phase utility interactive photovoltaic power generation system. The control system is composed of feed forward, feedback and PID system. The voltage source inverter system provides sinusoidal PWM ac current for the loads of utility system. A phase to ground fault and 3 phase fault are analyzed, and the results are discussed.

1. 서론

경제의 지속적인 발전과 인구의 증가로 인해 에너지 소비가 증가하고 이에 따른 환경문제와 자원고갈 등에 대한 대책으로서 태양광발전과 풍력발전, 연료전지발전, 열병합설비 등이 큰 관심거리가 되고 있다.

우리 나라는 에너지원의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 유가상승 등으로 인해 제 2의 경제위기가 도래할지도 모르는 위험한 사태에 직면해 있다.

근년, 대체에너지원으로써 태양광에너지가 갖고 있는 장점 때문에 세계적인 관심의 대상이 되고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1-3].

그러나 아직까지는 태양광발전시스템에 대한 자세한 정보나 연구결과 등이 미흡할 뿐 만 아니라 특히 태양광발전시스템 연계시 발생하는 각종사고에 대해서는 정확한 사고의 해석 및 그 해결책이 미미한 실정이다.

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 현재 시범 설치되어 실험중인 태양광 발전시스템을 모의하고[4-5] 3상용 전력인버터를 설계하여 계통에 연계시켜 시뮬레이션을 하였고 전력시스템에서 가장 빈번하게 발생하는 1선 지락사고와 심각한 사고전류를 유발시키는 3상 단락사고를 모의하여 이에 따르는 사고의 해석을 하였으며 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 태양광발전시스템

2.1 태양광발전시스템의 구성

태양광발전시스템의 일반적인 구성은 그림 1 과 같으며 IGBT를 이용한 Full bridge 회로, 고조파제거용 필터, 계통과의 연계용 변압기 등으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 전류제어형 고주파 인버터를 모델링에 사용하였으며, 전류제어형 고주파 인버터모델이 가지고 있는 장점을 들면 다음과 같다.

- 전력계통과의 연계가 용이하다.
- 과부하내량을 최소화 할 수 있다.
- 출력전류의 진폭 및 위상을 제어할 수 있다.
- 순시전류를 미세하게 제어할 수 있다.

전력계통의 전력품질 면에서 전압변동 범위는 정상운전시의 발전출력변동, 제어동요 등을 포함한 배전선로의

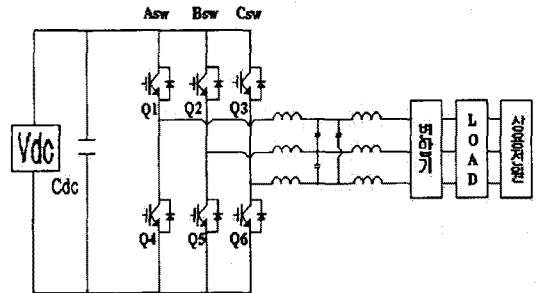


그림 1 3상 태양광발전시스템의 구성

연계점에 있어서 220V±10%이내이어야 하고, 역률유지범위는 정격출력의 1/2에서 정격출력까지의 범위에서 ±0.95 이내이어야 한다. 이러한 전력품질에 대한 사항을 고려하여 3상 태양광발전시스템을 모델링 하였다.

2.2 3상 태양광발전시스템의 모델링

태양광발전시스템의 전력변환을 하기 위한 장치로서 IGBT모듈을 사용하였으며, 충전 및 방전시의 인버터 스위칭이 원활하게 동작하도록 하였다. 전력용 반도체소자에 인가되는 과도전압(dv/dt)으로 인한 전력용 반도체소자의 과전압 충격을 방지하고 Turn-On 시에 생기는 과도전류(di/dt)를 제한하여 과도전류에 의한 충격을 방지하고자 스너버 저항과 스너버 커패시터로 IGBT 모듈을 구성하였고, 부하의 인덕턴스에 축적된 전류에너지 순환용으로서 Free wheeling Diode를 사용하였다. 주 회로방식으로서 인버터에는 전압형 전류제어방식을 사용하였으며, 스위칭에는 정현파 PWM(SPWM)방식을 사용하였다. 모델링에 사용된 태양광발전시스템의 파라메타는 표 1과 같으며, 그림 2는 위에서 서술한 방법과 표 1의 파라메타를 토대로 하여 PSCAD/EMTDC로 모델링 한 3상 태양광발전시스템을 보여주고 있다.

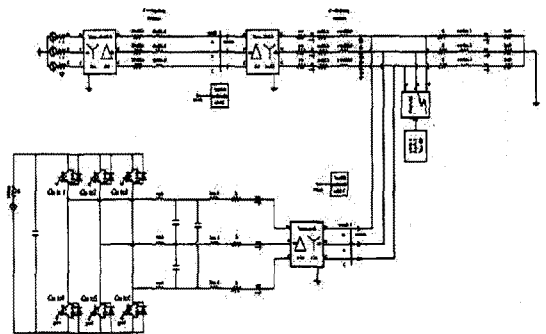


그림 2 PSCAD/EMTDC로 구성한 3상 태양광발전연계시스템

표1 태양광발전시스템의 파라메타

입력 정격전압	DC 200[V] - DC 350[V]
군별 최대입력전압	DC 434[V]
입력 그룹수	3 채널
그룹별 모듈수량	20 모듈 직렬
MPPT 제어범위	DC 224[V] - DC 348[V]
정격용량	3[kW]
출력 전압	AC 220[V] ± 1 %
출력 주파수	60[Hz] ± 1 %
CV 100[mm ²]	150[M]
CV 60[mm ²]	300[M]

2.3 시스템의 제어 및 SPWM

그림 3에 태양광발전시스템의 3상 인버터시스템 중 단상(A상)에 대한 제어기 블록도만 사용하여 3상 인버터시스템의 동작을 설명하고자 한다. 제어기의 목적은 인버터의 출력전류(I_{aout})를 계통측 전압 E_a 와 위상을 동기시켜 1로 제어하는 것으로써 상용전원의 상전압(E_a)을 센싱하고 기준전압발생기를 통하여 전류 지령치(I_{aref})를 발생시켜 사용하게 된다. 즉 I_{aout} 을 I_{aref} 에 추종하도록 제어함으로써 역률을 1로 제어할 수 있도록 하였다. 시스템의 블럭도와 같이 계통의 상전압(E_a, E_b, E_c)을 Feedback 했으며 여기에 Feed forward 보상기와 PID제어기를 사용하여 제어입력(U_a)을 만들고 DC 입력을 3상 대칭 교류 정현파로 만들기 위해 제어기출력(U_a)을 Gate signal 발생부(PWM Signal Generator)를 통하여 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation) 파형을 만들어내어 IGBT를 구동하게 된다. 이때 A상은 Gate1, Gate6, B상은 Gate2, Gate5, C상은 Gate3, Gate4를 제어하여 3상 대칭전류를 만들게 된다.

그림 4는 이를 PSCAD/EMTDC로 구현한 A상의 제어부이다.

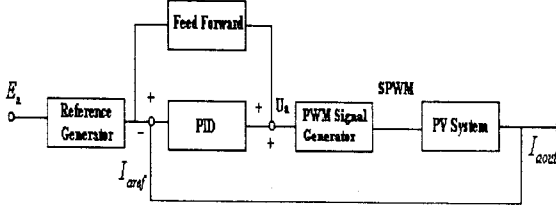


그림 3 제어기 블럭도

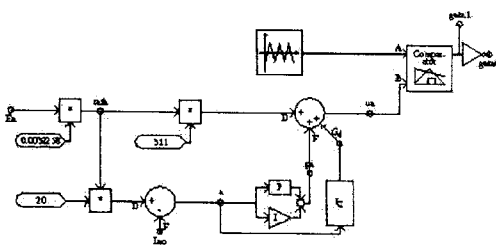


그림 4 PSCAD/EMTDC의 인버터 제어부

각 게이트의 출력은 그림 1의 Asw(Gate1,6), Bsw(Gate2,5), Csw(Gate3,6)의 스위치를 상보형으로 동작시켜 8가지의 형태의 스위칭 상태로 만들어 낼 수 있다. 스위치가 1로 표시된 것은 각 상의 왼쪽 스위치가 턴온된 것을 의미하며, 각 상의 스위치가 모두 1이거나 0이면 출력전압은 0전압이되어 무효백터가 된다. 인버터가 출력할 수 있는 3상 8가지의 스위칭 방법 및 상태를 표 2와 그림5에 나타내었다.

표2 인버터의 스위칭방법

Asw	Bsw	Csw
0	0	0
1	0	0
1	1	0
0	1	0
0	1	1
0	0	1
1	0	1
1	1	1

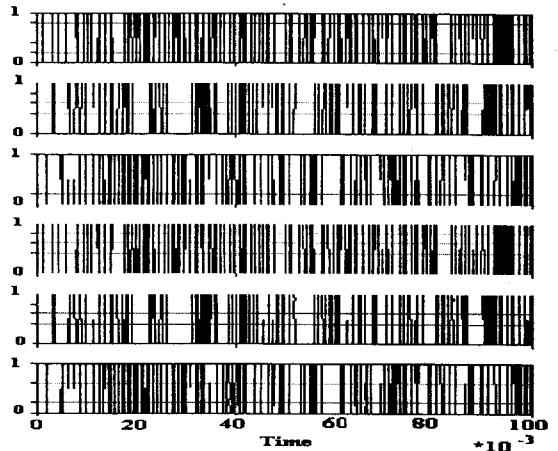


그림 5 인버터의 스위칭상태

그림 6 (A)에는 제어기의 Reference를 보여주고 있으며 (B)에는 제어입력 U_a, U_b, U_c 를 보여주고 있다. 제어의 목적에 맞추어 태양광발전시스템의 A상의 인버터 출력전류의 위상과 계통측 상전압(E_a)의 위상은 동기 되어야한다. 이는 B상, C상에서도 마찬가지로 각상별로 위상의 동기가 이루어져야한다. 그림 7에서 보는바와 같이 각 상별로 계통의 상전압에 추종하여 120도씩 위상차이가 나고있으며 각 상의 인버터 출력전류는 각 상의 상전압의 위상에 동기가 됨을 보여주고 있다.

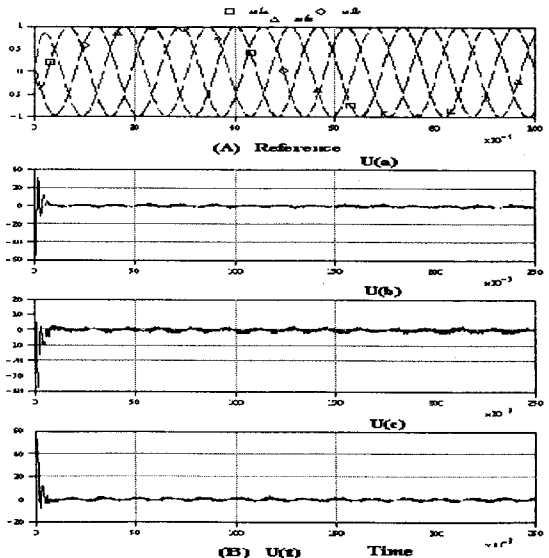


그림 6 제어기의 Reference 및 제어입력 U(t)

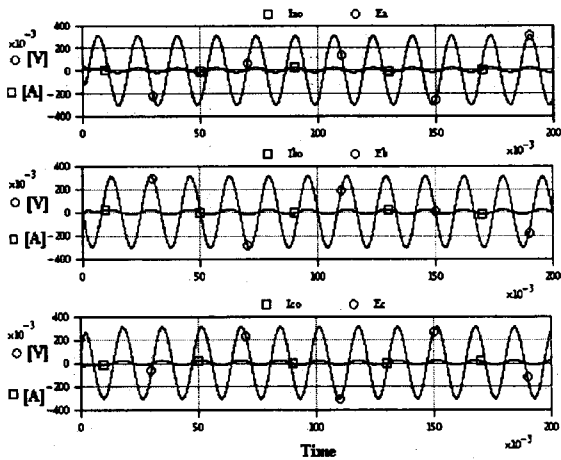


그림 7 태양광발전시스템의 출력 전류와 계통측 상전압의 위상동기

2.4 시뮬레이션 및 시스템의 출력

2.2절과 2.3절에서 제시한 태양광발전시스템의 모델링 및 인버터와 제어기 설계를 바탕으로 하여 그림 8과 9에는 태양광발전시스템의 계통연계시에 (a)-계통에서의 출력전류(Ia, Ib, Ic)와 (b)-태양광발전시스템에서 나오는 출력전류(Iao, Ibo, Ico), (c)-부하측으로 유입되는 전류(Ia1, Ib1, Ic1)를 나타내었고((0~0.3sec), (0.4~0.6sec)), 계통에서 가장 빈번히 발생할 수 있는 1선 지락사고와 고장시 큰 사고전류로 인해 시스템에 치명적인 악영향을 미칠 수 있는 3상 단락사고를 모의하고((0.3~0.4sec)), 그 시뮬레이션 결과를 도출해 보았다. 연계변압기의 저압측에 1선 지락사고와 3상 단락사고를 모의하였으며 사고 모의시간은 0.3초부터 0.4초까지 사고 지속시간을 0.1초로 동일하게 하였다. 그림 8-(a)에서 직선부분으로 나타나는 것은 사고전류의 스케일이 크기 때문에 그래프에서 나타내지 못하는 부분이다. 그림 8-(b)의 태양광발전 출력의 경우 과도상태에 peak성 전류가 많이 흐르는 것을 볼 수 있는데 이는 과도상태시 과도전류의 DC성분이 많이 포함되어 있기 때문으로 추측된다. 그림 8-(d)는 순수한 C상의 사고전류이다.

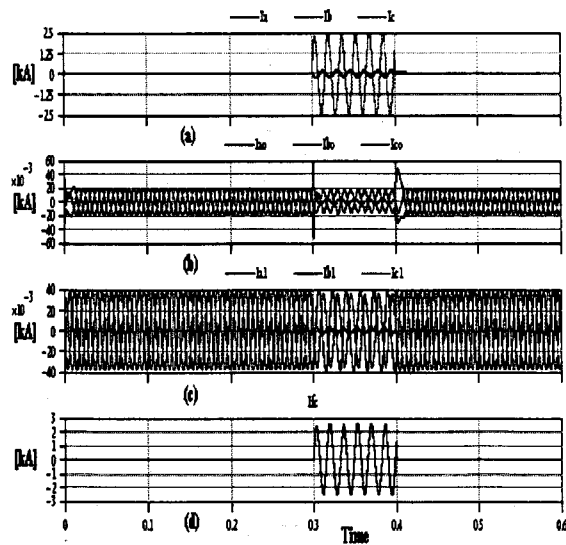


그림 8 1선 지락사고시 사고전류

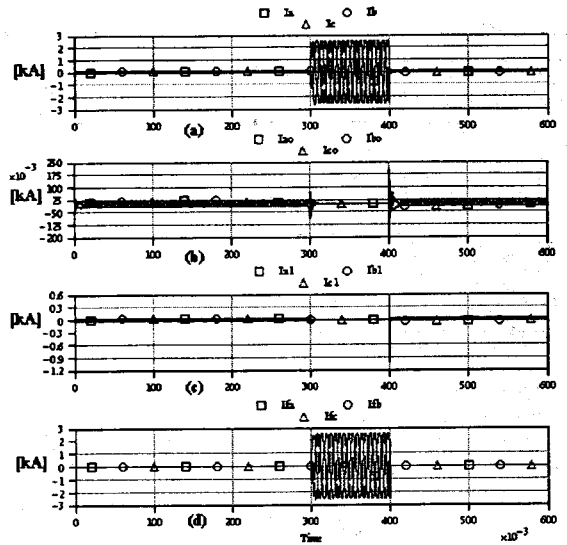


그림 9 3상 단락사고시 사고전류

그림 9에서 모의한 3상 단락사고는 상용전압을 feedback하여 출력전류를 추종(Tracking)제어한 경우인데 이 경우에는 인버터의 3상 출력 전류 파형이 줄어들어 실 계통에 큰 영향을 미치지 않지만 과도상태에 peak성 전류가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 9-(d)는 순수한 3상 사고전류이다.

3. 결 론

본 논문에서는 3상 태양광발전시스템을 모델링하고 인버터의 스위칭 블록도 및 제어회로를 제시하였으며 이에 따른 연계효과 및 1선 지락사고와 3상 단락사고를 모의하여 시스템 사고시의 과도특성을 분석하고 그 결과를 제시하였다. 논문에서 제시한 제어기를 사용하였을 때 1선 지락사고와 3상 단락사고에 대해 과도상태 및 사고구간동안에 좋지 않은 파형이 나옴을 볼 수 있는데 일반적으로 사용하고 있는 인버터시스템에서 채택하고 있는 차단방식과 차단특성을 고려한 시뮬레이션이 필요하며 이를 바탕으로 향후 계통측에서 요구하는 차단특성을 연구하여 제시할 것이다. 여름철 침투부하의 극복과 전력공급의 경제적 측면에서 태양광발전시스템은 매우 효과적으로 사용될 것으로 사료되며 태양광발전시스템의 계통연계시에 발생할 수 있는 제반 문제점을 검토 보완하여 최적시스템 구성방안을 모색해야 할 것이다.

본 연구는 한국과학기술원 KAIST 대학의
공작기계기술연구센터의 일부지원에 의한것임

(참 고 문 헌)

- [1] Keiju matsui, Yan Hu "Utility-Interactive 3Kw Photovoltaic Power Conditioning System by Using Foward Converter", IPEC-Yokohama, pp.189-196, 1995.
- [2] Naser abdel-Rahim "A single Phase Voltage Source Utility interface System for Weak AC Network Applications", IEEE pp. 93-98, 1994.
- [3] Sakutaro Nonaka "A Utility-Connected Residential PV System Adapted A Novel Single Phase Composite PWM Voltage Source Inverter", IEEE pp. 1064-1068, 1994.
- [4] 김 우현, 강 민규, 김 응상, 김 지원, 노 병권, 유 인근 "PSCAD/EMTDC를 이용한 태양광발전시스템의 배전계통 연계운전을 위한 모델링" 대한전기학회 하계학술대회, pp.1180-1182, 1999.
- [5] "계통연계형 태양광발전시설 기술규격 및 설명서", 쌍용중공업, 1998.