

DSC 태양광발전시스템을 위한 PWM인버터에 관한 연구

김진영, 박성준, 이임근, 김용철, 김희제

부산대학교 전기공학과

A study on the PWM Inverter for DSC Photovoltaic Generation by using DSP controller

Jin-young Kim, Sung-jun Park, Im-geun Lee, Yong-chul Kim, Je-hee Kim

Departement of Electrical Engineering Pusan National University

Abstract - 최근 나노입자를 이용하는 광전 화학전지 (PEC, Photoelectrochemical)인 염료감응형 태양전지 (DSC)의 효율이 증가함에 따라 DSC 태양광 발전 시스템의 성능 개선 또한 요구되어진다.

본 연구에서는 고속 스위칭 소자인 MOSFET 와 DSP 마이크로프로세서를 사용한 염료감응형 태양광 발전 시스템용 PWM 인버터의 특성을 Psim을 활용하여 시뮬레이션 하고, 그 결과에 따라 직접 소형 인버터를 제작하여, 동작 특성을 확인하였다.

1. 서 론

현재까지 개발된 여러 종류의 태양전지 중 실리콘을 이용하는 태양전지는 25%까지 도달하는 효율과 제조공정의 확보 등으로 가장 널리 사용되고 있지만, 제조과정에 대형의 고가장비가 사용되고, 실리콘 태양전지는 경직성이 강해 다양한 곳에 응용하기가 곤란한 단점이 있다.

이에 따라 최근 저가로 제조할 수 있는 태양전지에 대한 관심이 급증하고 있고, 이 중 나노입자를 이용하는 광전화학전지 (PEC, Photoelectrochemical)인 염료감응형 태양전지(DSC)가 많은 주목을 받고 있다. 염료감응형 태양전지는 생산 단계에서 실리콘 태양전지 단가의 5분의 1 수준이며, 유연성이 뛰어나 다양한 곳에 응용이 가능하다. 현재 10.4%의 광전효율을 도달한 염료감응형 태양전지는 향후 가능한 최대 실용도달효율이 20%이며, 20년의 수명이 보장되므로, 세계적으로 많은 연구자들과 기업들의 집중적인 연구가 행해지고 있다.

본 연구에서는 고속 스위칭 소자인 MOSFET 와 DSP 마이크로프로세서를 사용한 염료감응형 태양광 발전 시스템용 PWM 인버터의 특성을 Psim을 활용하여 시뮬레이션 하고, 그 결과에 따라 직접 소형 인버터를 제작하여, 동작 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 염료감응형 태양전지의 기본동작원리

염료감응형 태양전지의 기본구조는 그림 2-1에서 보는 것과 같이 샌드위치 구조 속에, 투명유리 위에 코팅된 투명전극에 접착되어 있는 나노입자로 구성된 다공질 TiO₂, TiO₂ 입자 위에 단분자층으로 코팅된 염료고분자, 그리고 두 전극 사이에 있는 50~100[μm] 두께의 공간을 채우고 있는 산화환원용 전해질 용액이 들어있는 형태를 지니고 있다. 전극은 양쪽을 모두 투명전극을 사용하기도 하지만, 일반적으로 에너지효율을 높이기 위하여 태양광이 입사하는 반대쪽 전극은 반사도가 좋은 백금을 사용하고 있다.

태양광이 전지에 입사되면 광양자는 먼저 염료고분자에 의해 흡수된다. 염료는 태양광흡수에 의해 여기상태로 되고 전자를 TiO₂의 전도대로 보낸다. 전자는 전극으로

이동하여 외부회로로 흘러가서 전기에너지를 전달하고, 에너지를 전달한 만큼 낮은 에너지상태가 되어 상대 전극으로 이동한다. 염료는 TiO₂에 전달한 전자 수만큼 전해질용액으로부터 공급받아 원래의 상태로 돌아가게 되는데, 이 때 사용되는 전해질은 iodide/triiodide 쌍으로써 산화환원에 의해 상대전극으로부터 전자를 받아 염료에 전달하는 역할을 담당한다. 이에 따라 전지의 open circuit voltage는 TiO₂반도체의 페르미에너지 준위와 전해질의 산화환원 준위의 차이에 의해 결정된다. 이러한 과정에서 전지의 성능을 좌우하는 중요한 작용들은 다음과 같다.

(가) 염료에 의한 여기전자의 생성 및 TiO₂로의 전자의 투입이 소멸보다 빨리 이루어져야 한다.

(나) 염료로부터 TiO₂로 전자가 투입되는 시간이 전자가 TiO₂에서 생성된 정공과 결합하는 시간보다 짧아야 한다. 일반적으로 염료에서 TiO₂로 전자가 투입되는 시간은 나노초이고, 정공이 여기전자와 결합하기 위해 이동하는 시간은 마이크로초이므로 큰 비율로 전자-정공의 결합에 의한 손실이 일어나지는 않지만, 이러한 반응이 일어나면 전지의 효율이 나빠지게 된다.

(다) TiO₂의 전도대에 있는 전자가 산화환원전해질과 결합하지 않아야 한다.

(라) 전자를 전달하여 산화된 염료가 전해질로부터 전자를 받아 다시 환원될 동안 분해되지 않아야 한다. 이 반응은 전지의 수명과 크게 연관 되어 있다.

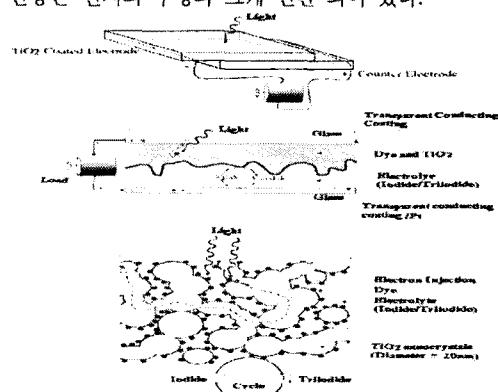


Fig. 2-1. The basic architecture of DSC

2.2 염료감응형 태양전지의 핵심 기술

염료감응형 전지의 효율을 급속히 올릴 수 있게 된 주요 원인 중의 하나는 반도체 표면적의 증가이다. 앞에서도 이야기하였듯이 염료고분자는 단분자층일 때 효율이 높으므로, 태양광의 흡수양은 염료고분자가 코팅된 반도체의 표면적이 넓을수록 크게 된다. 이 때문에 TiO₂의

입자가 작고, 기공도가 높을수록 전지의 효율은 향상되는데, 보통 15~30[nm]의 입경을 지닌 것이 주로 이용된다. TiO₂에는 anatase형과 rutile형 두 종류가 있는데, 이 중 anatase는 밴드 갭이 3.2[eV]로 높아서 고체상태 태양전지로는 부적합하나 염료감응형에는 이러한 점이 장점으로 작용하여, rutile형보다 널리 사용되고 있다. 염료감응형 전지에 TiO₂가 이용될 때는 2~10[μm]의 두께로 충진되어 사용된다. 원리적으로는 두께가 작을수록 유리하나, 태양광의 흡수량을 많게 하기 위해서는 두께가 높은 것이 좋은 상반된 효과가 있으므로, 염료의 종류에 따라 적절 두께가 결정되어진다.

나노크기의 TiO₂를 만드는 방법은 보통 타타늄 알콕사이드를 산성분위기 하에서 수화시켜 전도성유리 위에 박막형태로 입히고, 수분 동안 450[°C]에서 수분동안 소결하는 과정이 많이 이용된다. 최근 표면적이 큰 rutile TiO₂의 제조도 가능하게 되어 anatase 못지않은 높은 효율을 지닌 전지도 만들어지고 있다. 이렇게 만든 100[nm] 이하의 반도체 입자들은 큰 크기의 분말과는 다른 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 염료감응태양전지에서 관심이 있는 것으로는 양자크기효과 (quantum sized effect), 표면부근에서의 매우 작은 전자기장 구배 등이 있다. 그림 2-2는 나노 TiO₂ 입자의 형상을 보여준다



Fig. 2-2. The configuration of nano-TiO₂

2.3 인버터의 회로구성과 시뮬레이션

본 연구에서는 먼저 DSC태양광발전시스템으로 DSC CELL과 PWM인버터를 구성하고 이의 타당성을 확인하기 위하여 Psim에 의한 시뮬레이션을 실시하였다.

그림 2-3은 시뮬레이션에 사용된 주 회로이며 4개의 MOSFET, 2개의 FR(FAST RECOVERY) 다이오드, 전류의 불연속성을 방지하기 위한 L과 LC회로, 그리고 LC필터로 회로를 구성하였다.

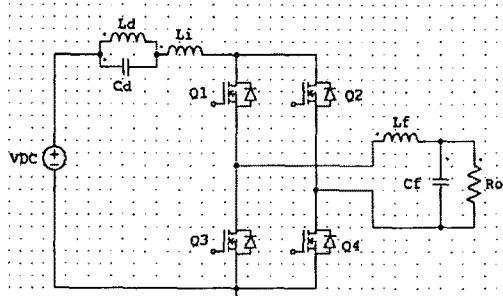


Fig. 2-3. main circuit of inverter

인버터 각 스위치 GATE 단에 입력되어지는 Q1, Q4, Q2, Q3 에는 계통전압 vs와 동상의 기준신호 vr과 20[kHz]의 캐리어파 Vc 간의 비교 신호가 각각 공급되도록 하였다. 그리고 Q2, Q3 에 대하여 180의 위상 차연을 갖도록 하였다.

그림 2-4는 부하에 따른 출력 전류 파형을 나타내고 있

다. 그림에서 보는 바와 같이 인버터의 출력전류는 지속적으로 출력 전압과 동상을 유지함을 알 수 있다. 따라서 시스템을 사용한 계통 연계 시에도, 인버터 출력전력과 계통 전력 간에 상지연이 발생되지 않고 역률 1을 유지하면서 부하 측에 안정적인 전력이 공급될 것임을 예측할 수 있다.

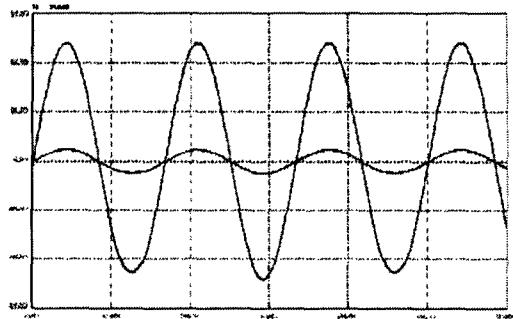


Fig. 2-4. Simulation waveform of output voltage and current

본 연구에서는 DSC태양광발전시스템으로 그림 2-5와 같은 DSC CELL과 PWM인버터를 구성하고, DSP을 사용하여 전류원형 PWM 인버터의 스위칭 소자 MOSFET의 스위칭 주파수를 20[kHz]로 제어하였다. 입력 DSC태양전지 전압에 따른 상용 교류 전압 출력과 전류 값을 조사하였다.

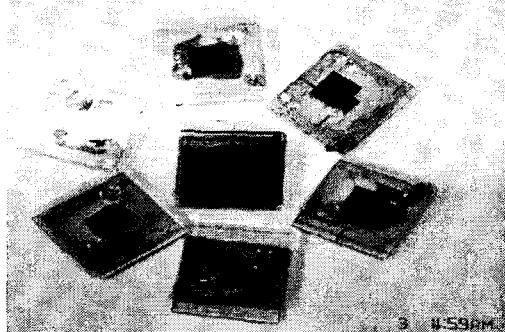


Fig. 2-5. DSC CELL

그림 2-6과 2-7은 주 스위칭의 각 게이트에 공급되는 펄스 신호에 대한 실제 측정 파형이며, 시뮬레이션에서 사용된 게이트 펄스에서와 같이 vr의 첫 번째 반 사이클 동안에는 Q1과 Q4에 PWM 파가 인가되고, 기준 전압 vr의 두 번째 반 사이클 동안에는 Q2와 Q3에 PWM 파가 인가되는 게이트 펄스를 구성하였다.

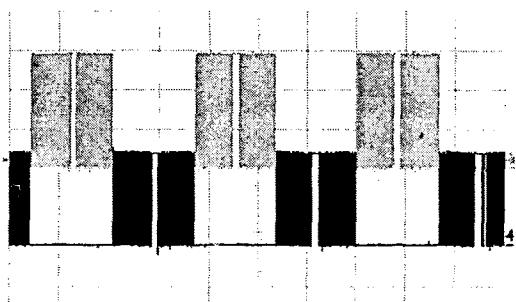


Fig. 5-8. Waveform of Q1Q4 and Q2Q3 gate pulse signal

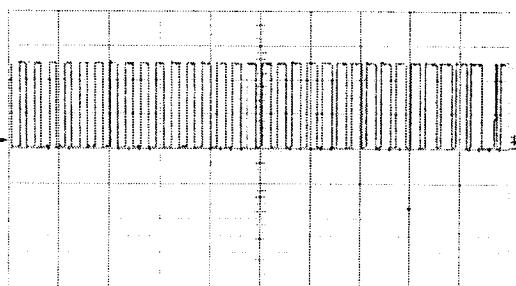


Fig. 2-7. The magnifying figure of switching pulse signal

그림 2-8은 MOSFET 트리거 신호에 의해 모듈레이션된 인버터 부하단의 실제 파형이다. 인버터의 출력전류 i_o 에 대한 실험파형으로 그림 2-4에서와 같이 출력전압 v_o 에 대하여 위상 지연이 없는 역률 1의 출력 파형을 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 인버터 출력 전류 i_o 의 실험 결과 파형과 시뮬레이션 결과 파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

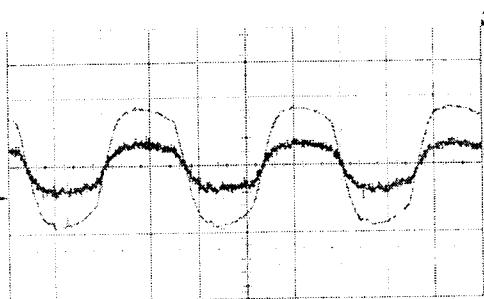


Fig. 2-8. Experimental waveform of inverter output voltage vs and current i_o (200[Ω])

그림 2-9는 입력 전력에 대한 출력 전력의 효율을 보여 주고 있다. 그래프에 나타난 것처럼 입력 전압이 증가할수록 출력은 선형적으로 증가하지만 효율은 85% 이내의 변화를 보였다.

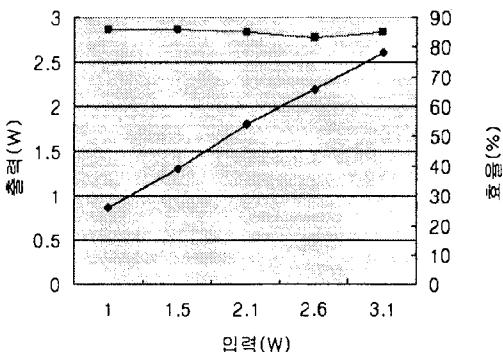


Fig. 2-9. The output & efficiency as input voltage

3. 결 론

본 연구에서는 고속 스위칭 소자인 MOSFET 와 DSP 마이크로프로세서를 사용한 염료감응형 태양광 발전 시스템용 PWM 인버터의 특성을 Psim을 활용하여 시뮬레이션 하고, 그 결과에 따라 직접 소형 인버터를 제작하

여, 동작 특성을 확인하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 직류 입력단 축 발전전력이 계통전원 주파수의 2배 주파수로 맥동하는 것을 파악하여 LC 공진회로를 구성함으로써 맥동성분을 5%이하로 개선하였다.
- MOSFET의 게이트 신호를 DSP를 활용하여, 가청주파수 이상인 20[kHz]의 안정된 인버터 스위칭 동작특성을 Psim 시뮬레이션 및 실험을 통하여 확인하였다.
- 입력전압 Vdc 10[V], Idc 0.2[A] 일때 정현파 출력전압 9.5[V] 0.18[A]을 달성하여, 효율 85%를 얻었다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.Gratzel, "Photoelectrochemical Solar Energy Conversion by Dye Sensitization" in Darmstadt" in The American Institute of Physics Sep.1997.
- [2] Brian A. Gregg "Biayer molecular solar cells on spin-coated TiO₂ substrates," in Elsevier Science Chemical Physics pp 376-380. Aug.1996
- [3] 전명석 "염료감응 나노입자 태양전지의 전망" ETIS 분석지 제 24권 pp82-95 에너지변환저장연구센터
- [4] Osman Kukrer, "Discrete-Time Current Control of Volta ge-Fed Three-Phase PWM Inverters" in IEEE Trans, vol. 1 1, NO. 2, MARCH 1996.
- [5] A.Hagfeldt, B.Didriksson, S.E.Lindquist "Verification of high efficiencies for the Gratzel-cell. A 7% efficient solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films" Solar Energy Materials and Solar Cells pp481-488 31 (1994)
- [6] C.G.Garcia, C.J.Kleverlaan, C.A.Bignozzi, N.Y.Murakami I ha "Time-resolved experiments in dye-sensitized solar cells using [(dcbH₂)₂Ru(ppy)₃]ClO₄ as a nanocrystalline TiO₂ sensitizer
- [7] Jirou Togawa "Jituyou, Dengenkairo sekkel handbook Copyright"1988
- [8] K.H Liu and F.C.Lee "Resonant Switches- a Unified Approach to Improved Performances of Switching Converters", IEEE International Telecommunications Energy Conference, 1987, pp. 344-351
- [9] R.Wu,S.B Dewan, and G.R.Slemon, "A PWM ac to dc converter with fixed switching frequency," in Conf.Rec.IEEE-IAS, 1988, pp.706-711.
- [10] J. M. D. Murphy and M. G. Egan, " A Comparison of PWM strages for Inverter Fed Induction Motors," IEEE IAS Annual Meeting Conference Record,1982, pp. 569-573.
- [11] 노의철, 정규범, 최남섭 "전력전자 공학"문운당, 1997
- [12] "TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide" Literature Number: SPRU3578B Revised December 2001