

MATLAB/Simulink를 이용한 계통연계형 3상 PWM 인버터의 연구

안현진*, 엄준현*, 정영국**, 임영철*, 김광현*
 전남대학교 전기공학과*, 대불대학교 융합기술학부**

A Study on the Grid-Connected Three-Phase PWM Inverter Using MATLAB/Simulink

H.J. Ahn*, J.H. Oum*, Y.G. Jung**, Y.C. Lim*, K.H. Kim*
 Chonnam National University*, Daebul University**

ABSTRACT

화석연료의 사용으로 인한 환경문제로 신재생에너지 부문에 대한 관심이 증가하였다. 따라서 분산전원 시스템과 계통과의 연계 필요성이 증대되고, 이로 인해 계통연계형 인버터의 연구가 활발해지고 있다. 인버터를 계통과 연계하기 위해서는 계통의 위상정보를 정확히 측정하여 인버터의 주파수와 위상이 동일한 상태로 전류가 공급되도록 해야 한다. 본 논문은 PWM을 이용한 3상 인버터를 고찰하였으며, 3상 D-Q 변환을 통한 PLL의 구조를 사용하여 인버터의 출력전압과 계통 전압의 위상을 동기화시켜 부하에 동일한 위상으로 공급되도록 하는 계통연계형 3상 PWM 인버터 시스템을 MATLAB/Simulink를 이용하여 구성하였다.

1. 서론

인류는 지금까지 화석연료(석탄, 석유, 천연가스 등)에 의한 에너지에 의존해 왔다. 이러한 화석연료의 사용으로 인한 이산화탄소 배출에 따른 심각한 환경 문제 및 매장량이 한정된 화석연료의 고갈의 문제로 인하여 화석연료의 사용을 줄이고자 대체 에너지 즉 신재생 에너지에 대한 연구가 우리나라 뿐 만 아니라, 세계 여러 나라에서 활발히 진행되고 있다. 따라서 이러한 신재생 에너지 즉 분산전원 시스템과 계통과의 연계 필요성이 증대되고, 이로 인해 계통연계형 인버터의 연구가 활발히 진행되고 있다. 인버터를 계통과 연계하기 위해서는 계통의 전압 및 전류의 위상 정보를 정확히 추정하여 인버터의 주파수와 위상이 동상으로 공급이 되도록 하는 제어가 반드시 필요하다.^[1]

본 논문에서는 PWM을 이용한 3상 인버터를 계통의 전압을 D-Q변환을 통해서 위상 정보를 추정하여 인버터의 출력전압의 위상을 계통과 동기화 시켜 부하에 동일한 위상으로 공급되도록 하는 계통연계형 3상 PWM 인버터 시스템을 MATLAB/Simulink를 이용하여 구현하였다.

2. 계통연계형 PWM 인버터 시스템

그림 1은 계통 연계형 PWM 인버터의 시스템이다. 계통의 전압을 기준으로 하여 PWM을 발생시켜 인버터를 동작시킴으로써 계통의 전압과 인버터의 전압이 동상이 되는 제어 구조이다. 본 논문은 이러한 계통 연계 시스템을 3상에 적용하였다.

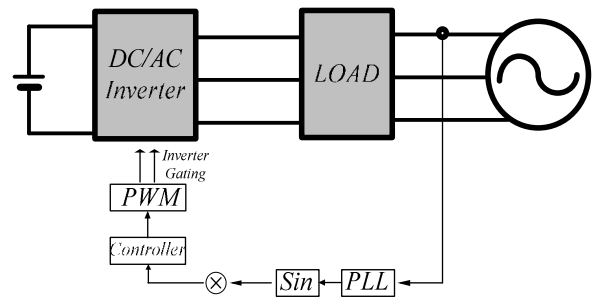


그림 1 계통연계형 PWM 인버터 시스템
 Fig. 1 Grid-Connected inverter system

3. 위상 추종 방법-PLL

계통의 위상 정보를 정확히 측정하기 위해 PLL 알고리즘이 필요하다. 3상 D-Q 변환을 통해서 동기상이 되는 제어기를 구성하여 위상의 정보를 얻는다. 그러나 완전평형 상태일 경우는 오차가 없지만, 아닐 경우 전압의 성분에 고조파가 많이 섞여 있어 제어기를 작동시키기 어렵다.

일반적인 3상 PLL은 d축의 전압을 0으로 만들어서 위상을 추종하는 형태이다. 일반적인 3상 PLL의 전압을 d-q 변환과정으로 나타내면 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V \cos(\theta) \\ V \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ V \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

(1)의 3상 전압을 V_α, V_β 로 변환하면, (2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_a \\ \frac{V_b - V_c}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \quad (2)$$

V_d, V_q 로 변환하면 (3)과 같다.

$$\begin{pmatrix} V_d \\ V_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

4. MATLAB/Simulink를 이용한 Simulation

4.1 시스템 구성

Simulink를 이용하여 그림 2와 같이 시스템을 구성하였다.

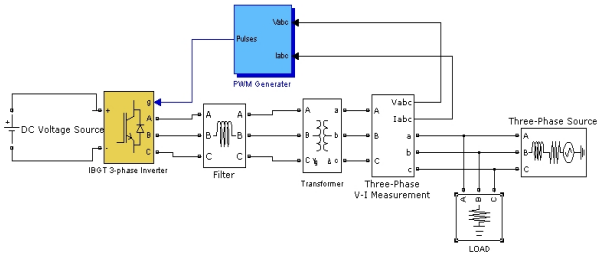


그림 2 시뮬레이션 회로도
Fig. 2 Simulation Circuit

그림 3은 PWM 발생부 안의 3상의 PLL 과정을 나타내는 구조이다.

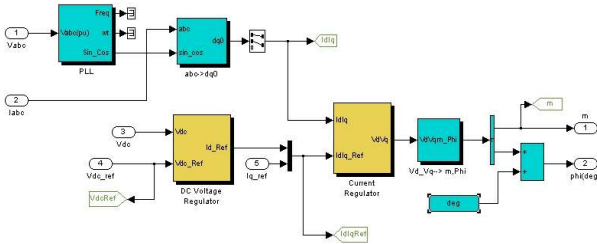


그림 3 3상 PLL 구조
Fig. 3 Three-Phase PLL structure

그림 4는 3상 PLL 블록 내부의 D-Q 변환을 통하여 위상에 대한 정보를 추정하는 과정을 나타내는 알고리즘이다.

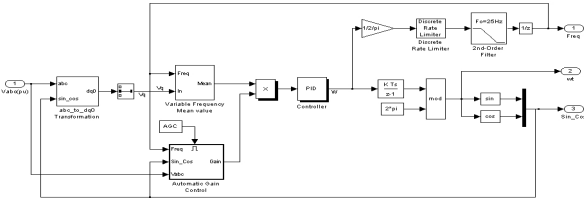
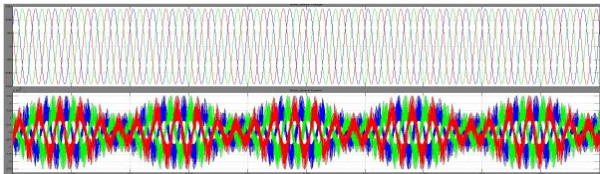


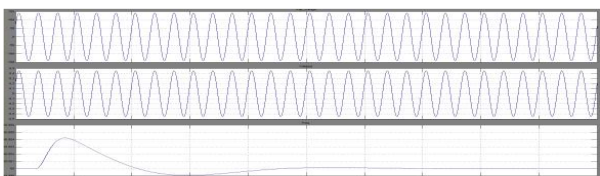
그림 4 위상차를 구하는 블록도
Fig. 4 Block of phase difference

4.2 시뮬레이션 결과

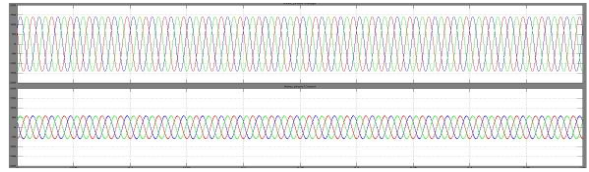
그림 5는 설계한 시스템의 결과를 나타내는 파형들로써 (a)는 Non-PLL 결과이고 (b)-(f)는 PLL제어를 통해서 얻은 결과이다.



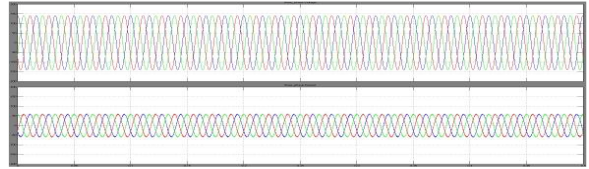
(a) Non-PLL 전압, 전류 파형



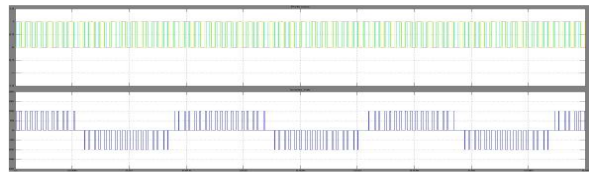
(b) PLL 제어된 한 상(Vab)의 전압과 주파수



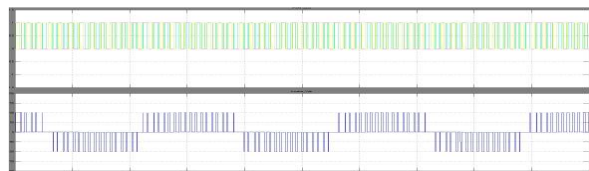
(c) 계통 전압의 위상이 0도 일 때 부하측 출력 전압, 전류



(d) 계통 전압의 위상이 60도 일 때 부하측 출력 전압, 전류



(e) 계통 전압의 위상이 0도 일 때 인버터측 게이팅 신호와 Vab 전압



(f) 계통 전압의 위상이 60도 일 때 인버터측 게이팅 신호와 Vab 전압

그림 5 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 5 Simulation Results

5. 결론

본 논문은 계통연계형 인버터에 대한 연구로써 계통의 전압의 위상 정보를 추정하여 인버터의 출력을 계통의 위상과 동상으로 만들어 주는 PLL 제어를 시뮬레이션 모델로 구현 하였다. 시뮬레이션 결과 출력단의 전류의 파형이 PLL제어를 하지 않는 파형과 비교 했을 때 많이 개선이 되었음을 알 수 있다. 계통의 위상의 정보가 0도 일 때 그리고 60도 일 때의 인버터측의 전압의 파형을 비교해보면, 계통의 정보에 따라서 인버터가 잘 반응하고 있음을 알 수 있었다.

본 논문은 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단) 및 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.2007-P-EP-HM-E-09-0000)

참고 문헌

- [1] S.-K. Chung, "Phase-locked loop for grid-connected three-phase power conversion systems", Electric Power Applications, IEEE Proceedings, Vol. 147, pp.213-219, 2000, May.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.