

전압제어형 전압원 인버터용 PRT 전압제어알고리즘

유원호*, 권혁대*, 최재혁*, 고성훈*, 이성룡*, 전철환*
 군산대학교

A PRT Voltage Control Algorithm for Voltage-Controlled Voltage Source Inverter

Won-Ho Yoo*, Hyuk-Dae Kwon*, Jae-Hyuk Choi*, Sung-Hun Ko*, Seong-Ryong Lee*, Chil-Hwan Cheon*
 Kunsan National University*

Abstract - 본 논문에서는 전압제어형 전압원 인버터용 PRT(Polarized RampTime) 제어 알고리즘에 대해 설명한다. VCVSI용 PRT 제어 알고리즘은 인버터 출력 전압의 비선형부하에 의한 과형왜곡과 부하와 DC 레일 전압변화에 의한 크기 변동과 같은 문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서는 PRT 제어 알고리즘의 구성과 수행을 설명하고, 이를 계통 연계형 전압제어형 전압원인버터에 적용하였다. 또한 본 논문의 유용성 확인을 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서론

배전계통의 전력품질 향상을 위해 능동전력필터와 UPQC(Unified Power Quality Conditioner) 등과 같은 향상된 전력변환기술을 이용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 태양광, 풍력, 연료전지와 같은 신재생에너지원과 연계하여 계통의 전력품질뿐 아니라 부하수요관리, 안정된 전력공급 등 하나의 시스템에서 여러 가지 기능을 수행할 수 있는 계통연계형 분산전원시스템에 대한 연구가 주목받고 있다. 이런 계통연계형 시스템은 계통 또는 분산전원과 전력흐름(Power flow)을 제어할 수 있는 양방향 전력변환기가 필요하며, 이의 특성이 전체 시스템의 성능을 결정짓게 된다[1].

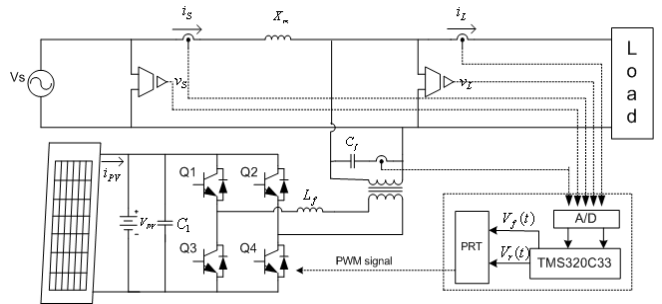
계통연계형 전압제어형 전압원 인버터(VCVSI: Voltage-Controlled Voltage Source Inverter)는 이상적인 교류전압원으로 제어가 가능하여 계통의 전압변동이 빈번하게 발생하는 불안정계통(Weak Grid)에 부하의 안정적 전원공급 목적으로 주로 사용된다. 또한 비선형부하로 인해 발생하는 역률저하 및 고조파 증가 등을 감소시켜 계통의 품질을 향상시킬 수 있어야 한다. 이와 같이 부하에 안정된 전원을 공급하고 동시에 전력 품질을 개선시키기 위해 PWM기법이 연구되고 있다. 일반적으로 사용되어지는 SPWM은 수행이 간편하고, 필요로 하는 계산값들이 최소한이어서 설계가 간편하다. 반면, SPWM의 단점으로는 VSI(Voltage Source Inverter)에서 사용되어지는 DC bus 공급전압의 제한이 있다. 일반적으로 SPWM을 사용한 출력전압이 선형부하 상태에서 DC전압의 90%도 되지 않는다. 또 다른 방법으로 히스테리시스와 같은 전류제어방법은 히스테리시스는 단순히 기준 전류의 상한 값과 하한 값을 설정하고 이를 비교하여 추종전류가 이들 값 사이에 있도록 스위칭시키는 방법으로, 회로구성 및 제어가 용이하고 인버터 입력전압 변동 및 부하의 급작스런 변화에도 빠르게 추종할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 이 방식은 부하변동에 따라 스위칭 주파수가 아주 민감하게 변동하기 때문에 출력필터 설계가 어려운 단점과 더불어 스위칭 패턴을 예측할 수 없어 소프트 스위칭 기법에 적용하기 매우 힘든 단점이 있다[2-3].

그러므로, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 계통연계형 전압제어형 전압원인버터용 PRT 전압제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 PRT 전압제어 알고리즘은 인버터를 구동하기 위해 필요한 PWM 신호를 실제 부하 전압과 지령전압을 비교한 오차신호 하나만을 사용하여 때문에 회로구성이 용의하고 제어가 간편하다는 장점이 있다. 또한 인버터의 입력전압 변동 및 부하의 급작스런 변화에도 지령전압을 빠르게 추종할 수 있으며, 다음 스위칭 패턴을 예측이 가능하여 소프트 스위칭에 적합한 장점을 가진다. 본 연구에서는 PRT 전압제어 알고리즘의 유용성을 확인하기 위해 계통연계형 전압제어형 전압원인버터에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다..

2. VCVSI용 PRT 전압제어알고리즘

그림 1은 본 연구에서 제안된 PRT 전압제어 알고리즘을 적용한 계통연계형 전압제어형 전압원인버터의 구성도이다. 계통연계형 VCVSI는 계통전원의 변동 및 고장시에도 부하에 안정된 전원을 공급할 수 있어야 된다. 이를 위해 분산전원(태양광, 풍력) 또는 배터리를 이용하게 되며, 계통과 부하를 분리시키기 위

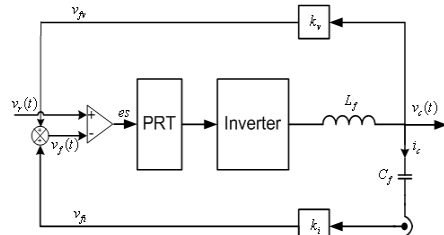
해 디커플링 인덕터(Xm)를 사용한다.



<그림 1> 계통연계형 VCVSI의 구성도

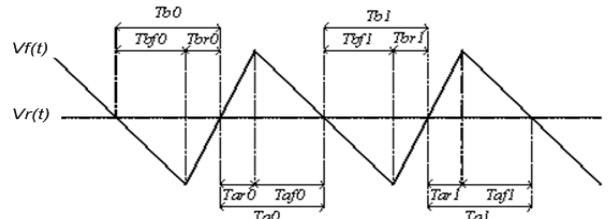
그림 1의 계통연계형 VCVSI는 계통전압의 변동에 따라 계통전압과 인버터 출력전압(부하전압)과의 위상차를 제어하여 계통과 인버터의 전력흐름(power flow)을 제어할 수 있다. 또한 비선형부하로 인해 발생하는 역률저하 및 고조파를 제거 또는 감소시킬 수 있어야 한다. 따라서 부하에 안정된 전력을 공급하기 위해 인버터의 전압은 이상적인 교류전압원 형태로 제어해야 된다.

일반적으로 출력전압만을 피드백하는 방법은 비선형부하조건일 경우 출력전압보상이 제대로 이루어지지 않아 출력전압에 왜곡이 발생한다. 이를 해결하기 위해 필터캐패시터 전류를 추가로 피드백하여 전압왜곡을 보상하는 방법을 주로 사용된다[2]. 그림 2는 부하전압과 출력캐패시터 전류를 피드백하여 최종적인 지령전압을 생성하는 제어 블록도이다.



<그림 2> 계통연계형 VCVSI의 제어 블록도

그림 2에서처럼 계통연계형 VCVSI는 부하전압과 출력캐패시터 전류를 피드백하여 Vr(t)를 생성하고, 이를 실제 부하전압을 센싱하여 만들어진 지령신호(Vr(t))과 비교한 오차신호를 이용하여 스위칭 신호를 생성하게 된다. 그림 3은 지령신호와 실제전압과의 오차신호를 나타낸다.



<그림 2> 전압 오차 신호

그림 3에서 고정된 스위칭 주파수를 얻기 위해서는 양의 영역

오차(T_a)신호와 부의 영역 오차(T_b)신호를 동일하게 유지시켜야 한다. 즉, 식 (1)과 같이 목표된 스위칭 주파수를 얻기 위해서 T_a 와 T_b 를 함께 제어해야 한다. 또한 전주기의 오차정보를 가지고 식 (2)와 (3)을 이용하여 다음 주기의 스위칭 패턴을 결정할 수 있다.

$$T_a^* = T_b^* = \frac{T_{sw}^*}{2} \quad (1)$$

$$T_{ar1}^* = \left(\frac{T_{ar0}^{\#}}{T_{a0}^{\#}} \right) \left(\frac{T_{sw}^*}{2} \right) \quad (2)$$

$$T_{bf1}^* = \left(\frac{T_{bf0}^{\#}}{T_{b0}^{\#}} \right) \left(\frac{T_{sw}^*}{2} \right) \quad (3)$$

여기서, *은 목표 값(계산 값), #은 측정된 값이다[3].

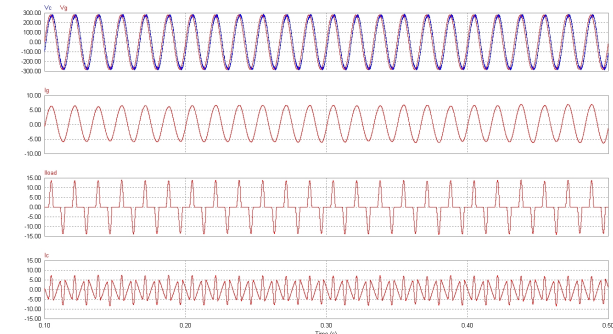
3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시한 계통연계형 전압제어용 PRT 제어 알고리즘의 유용성을 확인하기 위해 시뮬레이션 프로그램인 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 시뮬레이션 사용된 파라미터 값들은 표 1과 같다.

〈표 1〉 VCVSI 시뮬레이션

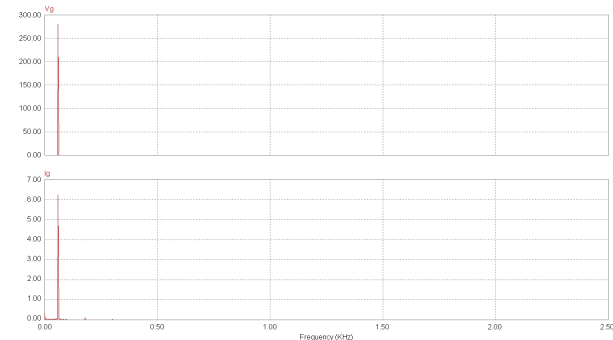
Parameter	Values	Parameter	Values
DC전압(Vdc)	200[Vdc]	디커플링 인덕터	42[mH]
계통전압(Vg)	220[Vrms]	스위칭 주파수	10[kHz]
기본주파수	60[Hz]	최대부하용량	1[KVA]
필터(Lf, Cf)	100[uH], 9[uF]	DC링크 캐패시터	1000[uF]

그림 4의 부하조건은 전형적인 캐패시터 입력형 부하이며, 위로부터 계통전압(V_g) 및 인버터전압(V_c), 계통전류(I_g), 부하전류(I_{load}) 그리고 인버터 전류(I_c)이다.



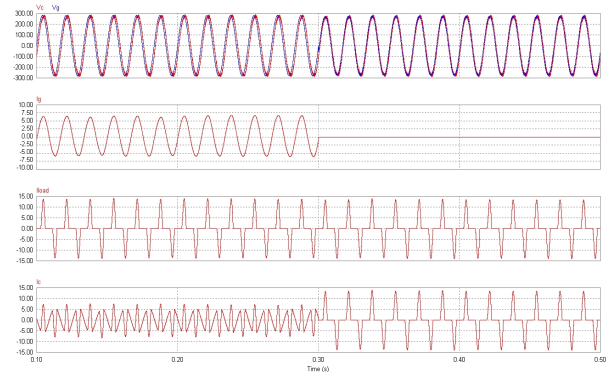
〈그림 4〉 시스템의 전압 및 전류 파형

그림 4에서 계통전압은 200[Vrms]로 약 10[%]의 전압 변동이 발생하였지만 부하전압은 220[Vrms]로 유지되고 있음을 알 수 있다. 또한 비선형부하에서 발생하는 무효전력을 인버터에서 보상함으로써 계통전류는 이상적인 정현파임을 알 수 있다. 이는 그림 5의 계통전압 및 전류의 고조파 분석결과에서 확인할 수 있으며, 이때 계통전압 및 전류의 THD는 2[%]미만으로 측정되었다.

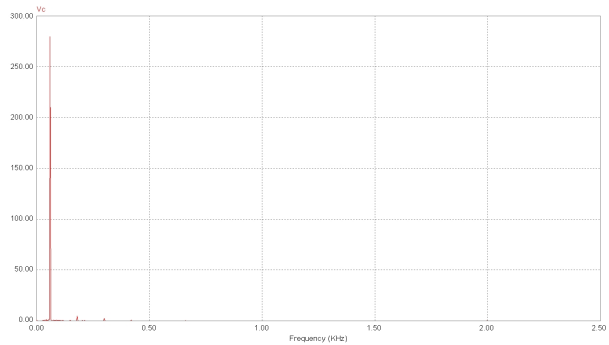


〈그림 5〉 계통 전압과 전류의 스펙트럼

그림 6은 계통의 고장 발생시의 시뮬레이션 파형으로, 제안된 시스템은 계통이 어떠한 이유로 전력을 공급할 수 없는 경우에 배터리 또는 분산전원의 전력을 이용하여 부하에 안정적으로 전력을 공급할 수 있음을 확인 할 수 있다. 또한 이때에도 부하전압은 이상적인 정현파임을 확인 할 수 있다. 그림 7에서 부하전압의 고조파 분석결과 1.8[%]로 한전배전계통공급기준을 만족하고 있음을 확인하였다.



〈그림 6〉 UPS 모드시 전압 및 전류 파형



〈그림 7〉 UPS 모드시 출력전압 스펙트럼

3. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 전압제어형 전압원인버터용 PRT 전압제어 알고리즘을 제안하였고, 유용성을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행 하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 PRT 제어알고리즘은 계통의 전압변동에도 부하에 안정적으로 전력을 공급할 수 있으며, 계통의 전력품질을 향상시킬 수 있다. 또한 배터리나 분산전원을 이용하여 계통 고장 발생 시에는 부하에 즉시 안정된 전력을 공급할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 신재생에너지기술개발사업(2007-N-PV 08-03-0)의 지원에 의하여 연구되었음

[참 고 문 헌]

[1] H. Dehbonei, "Power Conditioning for Distributed Renewable Energy Generation," Ph.D. Dissertation, Dept. elect. Comput. Eng., Curtin Univ. Technol., perth, 2003.
 [2] Gui-xin Wang', Bin Wag2, Yong Kang3, Jim Chen4, senior member, IEEE, "A Novel Voltage-Controlled Delta-Modulated UPS Inverter Control Scheme," The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 2 - 6, 2004, Busan, Korea
 [3] S.H. Ko, Y.C. Shin, and S.R. Lee, "Implementation of Grid-interactive Current Controlled Voltage Source Inverter for Power Conditioning System," KIEE International Trans. on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, vol. 5-B, no. 4, pp. 382-391, 2005.