

QZSI를 이용한 유도 전동기 구동 시스템에서 인덕터 전류 리플을 최소화하기 위한 변형공간벡터변조방법

한상협*, 김흥근*, 차헌녕*, 전태원**, 노의철***
 경북대학교* 울산대학교** 부경대학교***

Modified space vector modulation for minimum inductor current ripple in QZSI fed induction motor drive system

Sang-Hyup Han*, Heung-Geun Kim*, Honnyong Cha*, Tae-Won Chun**, Eui-Cheol Nho***
 Kyungpook National Univ.*, Ulsan Univ.** , Pukyong National Univ.***

ABSTRACT

QZSI(Quasi Z-Source Inverter)를 이용한 유도전동기 제어 시스템은 암단락 상태를 제어에 이용할 수 있어서 추가 컨버터 없이도 단일 구조로 가변 배터리 전압을 일정하게 승압할 수 있다. 암단락을 이용한 승압은 직류단 전압제어가 보장되어야 하며 전압 제어기 성능이 인버터 출력 전류 제어에 상당한 영향을 미친다. 본 논문은 QZSI에서 직류 전압을 승압시키기 위한 암단락 시간을 효율적으로 제어하여 인덕터 전류 리플을 감소시키는 변형 공간벡터방식을 이용하여 유도 전동기를 제어하고 시뮬레이션과 실험을 통해 이를 검증한다.

1. 서론

최근 화석 연료의 고갈과 환경 정책에 의해 전기 자동차에 대한 관심이 높아지고 있다. 전기 자동차의 일반적인 전력변환 장치는 배터리 출력전압을 승압하기 위한 직류/직류 컨버터와 모터를 제어하기 위한 인버터로 구성된다. QZSI를 이용하면 이러한 2단 구조 대신에 1단 구조가 되기 때문에 가격의 절감과 부피가 감소된다. 하지만 네트워크 단의 전류와 전압 리플의 크기에 따라 용량이 결정되는 인덕터와 커패시터로 인하여 네트워크단의 최적설계 과정을 거쳐야만 한다. 그러기 위해서는 전류나 전압 리플을 줄여 소자의 용량을 최소화하는 방법이 있다.

그림 1은 양방향 QZSI를 이용한 유도 전동기 제어 시스템이다. 일반적으로 사용되는 부스트 컨버터 대신 임피던스 네트워크를 사용하여 단일 구성으로 시스템에 필요한 승압과 출력 전류 제어 등을 수행한다.^[2] QZSI시스템에서 암단락은 배터리의 낮은 전압을 모터 제어가 가능하도록 승압하는 목적으로 사용된다. 임피던스네트워크 내의 커패시터 전압을 이용할 수도 있고 직접적으로 또는 간접적으로 직류단 전압을 제어할 수도 있다. 커패시터 전압을 이용하는 경우엔 암단락에 따라 직류단 전압이 변하고 필요이상의 전압으로 승압되는 단점이 있고 직류단 전압을 직접 이용하는 방법역시 안정성을 보장하지 못하거나 응답 특성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 인덕터 전류 리플을 최소화하는 PWM 방법을 적용한 전압형 QZSI를 통해 유도 전동기를 제어하며 검증을 위해 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

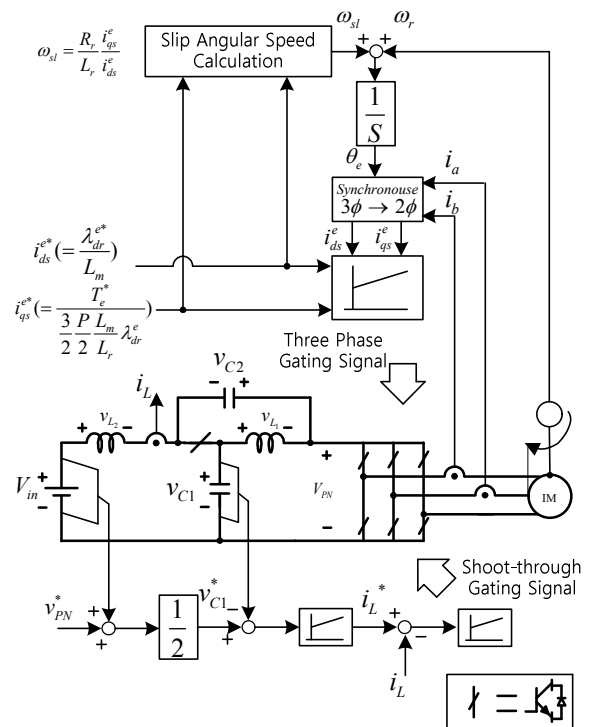


그림 2 양방향 QZSI를 이용한 모터 제어 시스템

2. 양방향 QZSI의 동작 원리

2.1 암단락 제어 방법

암단락에 의해 증가되는 전압은 전류 제어를 통해 일정하게 유지하고 동시에 입력단 전압으로 감소시킬 수 있다.

식 (1)은 최대 교류 출력에 따른 암단락 듀티를 계산하는 식이다. 이 식으로 듀티를 계산하여 원하는 출력 전압을 내기 위한 커패시터 전압을 알 수 있다.

$$V_{ac, rms} = V_{in} \frac{1}{1-2D} \times \frac{1-D}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$V_{c1} = V_{in} \frac{1-D}{1-2D} \quad (2)$$

$$V_{c2} = V_{in} \frac{D}{1-2D} \quad (3)$$

$$\hat{v}_{pm} = V_{c1} + V_{c2} \quad (4)$$

양방향 전력 제어시 네트워크 단의 PN 전압을 일정하게 제어하기 위해서는 커패시터 전압 제어가 필요하다. 하지만 기존의 전압 제어 방법은 네트워크 단의 인덕터 성분으로 인해 공진 현상이 발생하는 문제가 있는데 이를 해결하기 위하여 그림 1과 같이 직렬로 인덕터 전류 제어를 추가 하였다.

2.2 인덕터 전류 리플을 최소화하기 위한 변형 공간 벡터 변조 방법

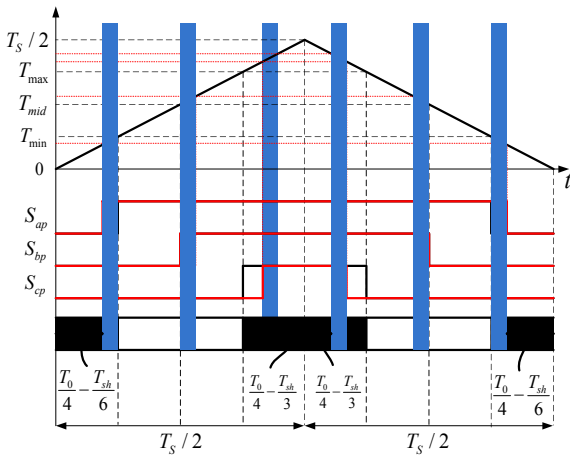


그림 2 PWM 동작 원리

변형된 공간전압 변조방식의 위상 3개의 스위칭 패턴은 그림 2와 같다. 기존 변조 방식에서 shoot-through 시간을 6등분하여 한 주기 동안 6개 구간에 균등하게 나누어 분포시킨다. 여기서 유효한 전압 인가 구간인 T_1 과 T_2 는 변동이 없고, 영전압 구간 동안에서만 shoot-through 시간을 제어한다. 기존의 방법과는 달리 shoot-through 구간을 나누어 제어하므로 네트워크 단의 인덕터 전류 리플이 감소한다는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 변형 공간벡터 변조방식을 이용한 시뮬레이션 결과이고 그림 4는 변형 공간벡터 변조방식을 이용한 실험 결과이다. 변경된 공간전압 변조방식을 이용하며 네트워크 단의 커패시터 전압이 안정적으로 제어되는 동시에 인덕터 전류 리플이 기존의 simple boost 방법에 비해 두 배 이상 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 암단락 시간을 효율적으로 제어하여 인덕터 전류리플을 최소화하는 변형 공간벡터방식을 적용하여 QZSI 유도전동기 시스템을 제어하였다. 기존의 모터 제어 시스템과는 달리 별도의 승압 회로 없이 단일 구조로 승압이 되는 장점이 있으며 양방향 전력 전달 또한 가능하다. 또한 공진 현상에 취약할 수 있는 기존의 방법과는 달리 네트워크 단의 인덕터 전류를 제어함으로써 강인한 전류 제어가 가능하며 암

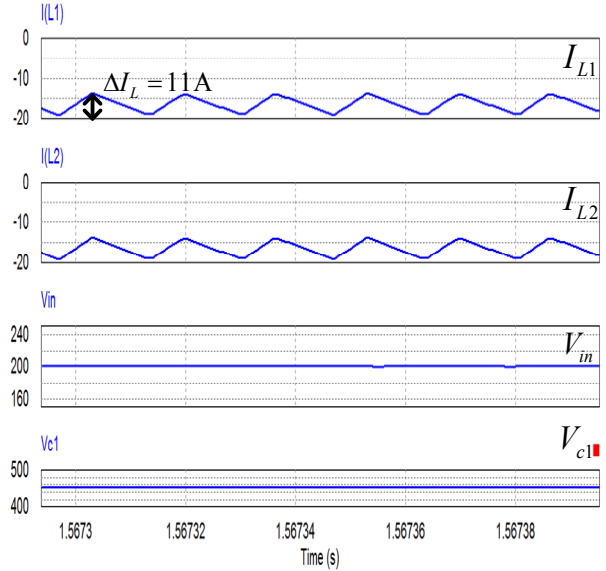


그림 3 PWM 방법을 변경한 QZSI의 시뮬레이션 결과 파형

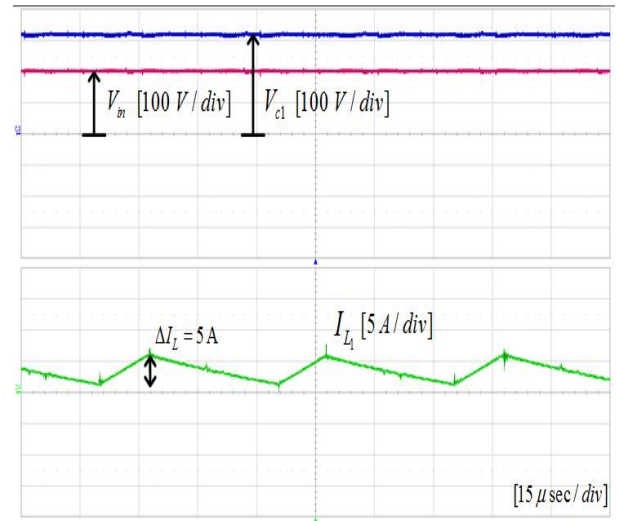


그림 4 PWM 방법을 변경한 QZSI의 실험 결과 파형

단락을 한주기에 여섯 번으로 나누어 전류 스트레스를 줄일 수 있어 효율을 개선할 수 있다. 이 컨버터는 계통 연계형 발전 시스템과 전기 자동차 시스템에 적용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Fang Zheng Peng, "Z-source inverter", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 39, No. 2, pp.504 - 510, 2003
- [2] Jong-Hyoung Park, Heung-Geun Kim, Eui-Cheol Nho, and Tae-Won Chun, "Power Conditioning System for a Grid Connected PV Power Generation Using a Quasi-Z-source Inverter", Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 1, pp.1 - 8, 2010