

2상 유도전동기를 위한 2레그형 인버터의 커패시터 전압 불평형 보상 기법에 관한 연구

서채현, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

A Study on the Unbalanced Capacitor Voltages Compensation Method of Two-Leg Inverter for Two-Phase Induction Motor

Chae-Hyeon Seo, Duck-Yong Yoon

Kongju National University

ABSTRACT

2상 유도전동기를 구동하기 위한 2레그형 인버터에서는 직류 링크 양단에 직렬로 연결된 2개의 커패시터에 걸리는 전압에 불균형이 발생하므로 이것이 전동기 상전류의 불평형과 토크 리플을 야기한다. 본 논문에서는 이러한 상전류의 불평형을 간접 보상할 수 있는 PWM 제어 방법과 커패시터 전압의 균형을 제어함으로써 전동기 상전류의 평형을 유지할 수 있는 직접 보상 방법을 제안하였다.

1. 서론

2레그형 인버터에서는 스위칭 동작에 따라 2개의 직렬 커패시터 중에서 어느 하나만을 사용하므로 과도적인 커패시터 전압의 불균형이 발생하며, 이러한 불균형은 전동기 상전류의 불평형 및 토크 리플을 야기한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 2개의 직류링크 커패시터 전압 차이를 고려하여 PWM 스위칭 시간을 결정하는 간접 보상 방법과 3상 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하여 4개의 스위치로 2레그형 인버터를 구성하고 남은 2개의 스위칭 소자를 커패시터의 전압 밸런싱 회로로 사용하여 커패시터 전압의 균형을 제어하는 직접 보상 방법을 제안한다. 제안된 방법의 유효성은 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

2. 커패시터 전압 불균형의 보상 기법

2레그형 인버터는 4개의 스위칭 소자를 사용하고 2상의 전동기 권선을 인버터 출력단과 2개의 커패시터가 만나는 중성점에 연결하여 그림 1과 같은 하프 브리지의 형태로 구성된다.

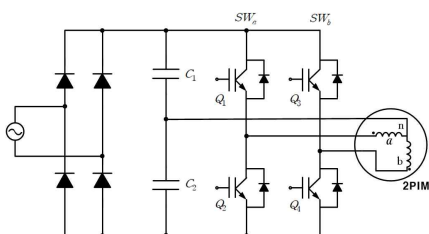


그림 1. 4개의 스위치를 사용한 2상 2레그형 인버터
Fig. 1 Two-phase two-leg inverter using four switches

이러한 2상 2레그형 인버터에서는 스위칭 상태에 따라 4개의 전압 벡터를 출력할 수 있는데, 이 중에서 2개의 스위칭 동작에서는 상전류가 위아래 커패시터 중에서 하나의 커패시터만을 통과하므로 커패시터 전압의 과도적인 불균형이 발생한다.^[1] 이로 인하여 전동기의 상전류는 그림 2와 같이 불평형으로 된다.

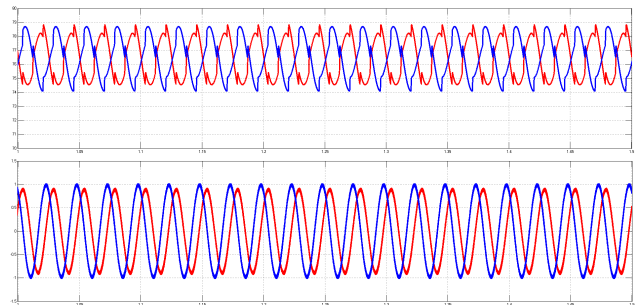


그림 2. V_{dc1} , V_{dc2} 및 i_{as} , i_{bs} 의 파형

Fig. 2 Waveforms of V_{dc1} , V_{dc2} and i_{as} , i_{bs}

2.1 간접 보상 방법

2레그형 인버터를 SPWM(Sinusoidal PWM)으로 구동할 때 인버터의 스위칭 시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.^[2]

$$T_a = \frac{T_s}{2} - \frac{V_{as}^*}{V_{dc}} T_s \quad T_b = \frac{T_s}{2} - \frac{V_{bs}^*}{V_{dc}} T_s \quad (1)$$

위의 스위칭 시간은 직류링크 커패시터 전압 V_{dc1} , V_{dc2} 가 동일한 경우에만 유효하며, 2개의 커패시터 전압이 서로 다를 경우에는 실제 지령전압과 다른 왜곡된 전압이 출력된다. 이처럼 각 커패시터의 전압이 달라지는 경우에는 보상전압을 사용하여 식 (2)와 같이 스위칭 시간을 계산해주면 되는데, 여기서 보상전압 V_{comp} 는 식 (3)과 같은 형태로 나타낸다.^[3]

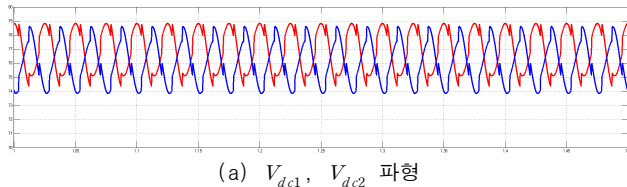
$$T_a = \frac{\frac{V_{dc}}{2} + V_{comp}}{V_{dc}} T_s - \frac{V_{as}^*}{V_{dc}} T_s \quad (2)$$

$$T_b = \frac{\frac{V_{dc}}{2} + V_{comp}}{V_{dc}} T_s - \frac{V_{bs}^*}{V_{dc}} T_s$$

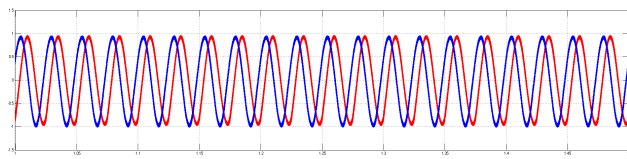
$$V_{comp} = k(V_{dc2} - V_{dc1}) \approx \frac{1}{2}(V_{dc2} - V_{dc1}) \quad (3)$$

보상전압의 크기를 결정하는 k의 값은 시스템의 동작 조건에 따라 다르게 결정하며, 출력전압이 지령전압과 동일하게 발생할 수 있도록 지령전압이 위치하는 섹터에 따라 다르게 조정하여 구할 수 있다. 그러나 결국 보상전압은 커패시터 전압차의 1/2로 주는 것이 바람직하므로 k값은 1/2이 된다.

그림 3은 이러한 간접 보상 방법을 적용한 경우의 시뮬레이션 결과인데, 전동기의 상전류가 거의 평형으로 유지되는 것을 볼 수 있다.



(a) V_{dc1} , V_{dc2} 파형



(b) a,b상 전류 파형

그림 3. 간접 보상 기법을 적용한 경우 전동기 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation results of motor operation in case of using indirect compensation method

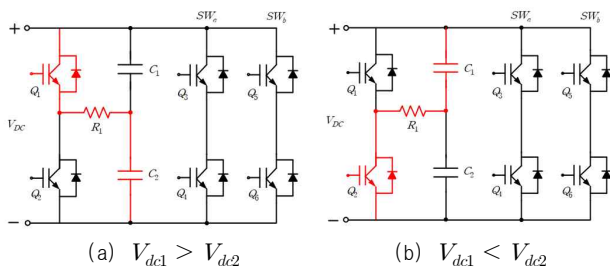
2.2 직접 보상 방법

직류링크 커패시터 전압의 불균형을 밸런싱하여 직접 보상하는 기능을 갖는 2레그 인버터는 3상 IPM을 사용하여 경제적으로 구성할 수 있다. 여기서 남은 2개의 반도체 스위치를 커패시터가 만나는 중성점에 밸런싱 저항을 거쳐서 연결하면 이 2개의 스위치를 사용하여 커패시터의 전압을 제어할 수 있다.

그림 4는 2개 커패시터의 각 전압에 따른 스위칭 제어 방법을 보여준다. $V_{dc1} > V_{dc2}$ 인 경우에는 스위치 Q_1 을 동작시켜 R_1 을 통해 C_2 를 충전하며, 반대로 $V_{dc1} < V_{dc2}$ 인 경우에는 스위치 Q_2 를 동작시켜 R_1 을 통해 C_1 을 충전하는 방식으로 커패시터 전압을 밸런싱 제어한다. 이때, 저항값이 작을수록 충전 속도는 증가하지만 저항에서의 소비전력도 증가한다. 또한 커패시터의 용량이 클수록 전압 리플은 감소하지만 소자가 커진다.

그림 5에 R, C 소자값에 따른 UF(Unbalancing Factor)와 밸런싱 저항에서의 소비전력을 나타냈는데, 여기서 UF는 두 커패시터 전압의 평균치에 대한 차이 전압의 비율이다.

$$UF = \frac{|V_{dc2} - V_{dc1}|_{\max}}{\frac{1}{2} V_{dc}} \times 100 \quad (4)$$



(a) $V_{dc1} > V_{dc2}$

(b) $V_{dc1} < V_{dc2}$

그림 4. 직류링크 커패시터 전압에 따른 스위칭 동작
Fig. 4 Switching operations according to DC-link capacitors

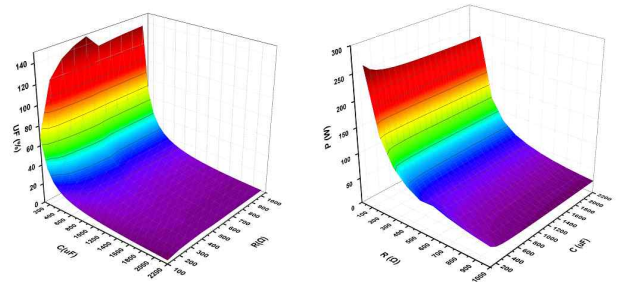
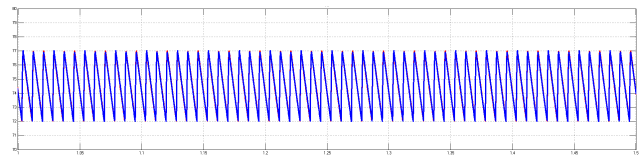


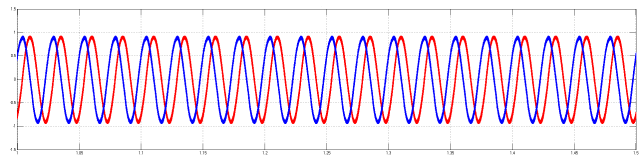
그림 5. 저항 및 커패시터에 따른 UF와 소비전력

Fig. 5 UF and power consumption according to resistor values and capacitor values

그림 6은 R = 50Ω, C = 680μF를 사용하여 직접 보상 방법을 적용한 경우 직류링크의 각 커패시터 전압과 2상 유도전동기의 상전류 파형을 보였는데, 정상상태에서 커패시터 전압이 균형을 유지하고 상전류도 평형 상태를 유지하게 된다.



(a) V_{dc1} , V_{dc2} 파형



(b) a,b상 전류 파형

그림 6. 직접 보상 기법을 적용한 경우 전동기 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results of motor operation in case of using direct compensation method

3. 결론

2상 유도전동기 구동용 2레그형 인버터에서는 직류링크에 연결된 각 커패시터의 전압 불균형으로 인해 출력전압이 왜곡되며, 이로 인해 전동기 상전류의 불평형이 발생하고 이는 다시 토크 리플을 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 PWM 스위칭 시간을 계산할 때 커패시터의 전압차에 해당하는 보상전압을 추가하는 간접 보상 방법과 커패시터의 불균형 전압을 밸런싱하는 회로를 사용하여 직접적으로 보상하는 2가지 방법을 제안하고 적용하였다. 2가지 모두에서 전동기에 공급되는 상전류의 불평형이 거의 제거되는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 이동명, “보상전압 첨가를 통한 B4 인버터 성능향상”, 전력전자학회논문지, 제18권, 제1호, pp.110~116, 2013. 2.
- [2] 김영신, 이동훈, 석줄기, “2-레그 3상 PWM 인버터의 출력전압에서 직류링크 리플전압의 영향 보상”, 대한전기학회논문지, 제55권, 제1호, pp.47~53, 2006.
- [3] 배진한, 윤덕용, “역률개선기능을 갖는 2상 유도전동기를 위한 2레그형 인버터”, 전력전자학회 학술대회 논문집, pp.116~117, 2014. 7.