

# 승압 모드로 동작하는 매트릭스 컨버터의 유도 전동기 제어 기법

정원석, 박영수, 이은실, 이교범  
아주대학교

## Control Strategy of Induction Motor Driven by a Matrix Converter Operating in Boost Mode

Won Seok Jung, Yeongsu Bak, Eunsil Lee, Kyo Beum Lee  
Ajou University

### ABSTRACT

본 논문에서는 역방향의 전력 흐름을 갖는 간접형 매트릭스 컨버터로 구동되는 유도 전동기의 제어 방법을 제안한다. 매트릭스 컨버터는 직류단에 에너지 저장 소자가 없는 AC/AC 전력 변환 장치로, 부피가 작고 가벼우며 내구성이 높다. 입력 전압의 최대 0.866배의 낮은 전압 전달율을 갖는 단점을 극복하기 위하여 기존의 입력, 출력의 방향을 반대로 구성하여 전압 전달율을 높이는 방법을 제안한다. 제안한 구조는 추가적인 소자 또는 회로 없이 승압 동작이 가능하다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 타당성을 검증한다.

### 1. 서 론

AC/AC 전력 변환 시스템은 산업 현장에 매우 많이 응용되고 있다<sup>[1][2]</sup>. AC/AC 전력 변환 시스템 중의 하나인 간접형 매트릭스 컨버터는 정현적인 입, 출력 파형을 가지며, 직류단의 영전류에서 커뮤테이션이 가능하고 양방향의 전력 흐름을 갖는다. 그러나 입, 출력 최대 전압 전달율이 0.866으로 제한되어 있기 때문에, 항상 벡 모드로 동작한다. 일반적으로 간접형 매트릭스 컨버터의 입력 단은 일정한 전압과 주파수를 가진 3상 전압원과 연결된다. 출력 단은 가변되는 전압과 주파수를 가지는 전동기 등의 부하와 연결된다. 이런 구조에서, 유도 전동기를 구동하는 간접형 매트릭스 컨버터는 선형 제어 영역에서 입력 전압보다 높은 전압을 출력할 수 없다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 추가 소자 없이 전압 전달율을 향상시키기 위한 역방향 매트릭스 컨버터 및 유도 전동기 구동을 위한 제어 방법을 제안한다. 역방향 매트릭스 컨버터의 구조는 간접형 매트릭스 컨버터의 전류원 정류단과 전압원 인버터단을 전압원 정류단과 전류원 인버터단으로 변화시킨 것이다. 따라서 간접형 매트릭스 컨버터의 입력과 출력을 역으로 바꾸므로 최소 전압 전달율을 1/0.866로 향상시킬 수 있다. 역방향 매트릭스 컨버터는 승압 모드로 동작하며, 입력 전압보다 높은 출력 전압을 생성하는 특징을 갖는다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 입력 단으로 발전기를 사용하는 경우를 고려하여 입력 단의 전압 및 주파수가 가변되더라도 유도 전동기를 일정한 속도로 구동하는 제어 방법을 제안하고, 제어 방법의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 2. 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지 및 유도 전동기 구동 시스템의 제어 방법

#### 2.1 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지

그림 1은 제안하는 역방향 매트릭스 컨버터의 회로도이다. 이는 발전기, 역방향 매트릭스 컨버터, 출력 필터 커패시터와 유도 전동기로 구성된다. 입력 단의 발전기는 가변되는 전압과 주파수를 발생시킬 수 있다. 역방향 매트릭스 컨버터는 전압원 정류단, 전류원 인버터단으로 구성되고, 정류단과 인버터단 사이에는 에너지 저장 소자 없이 가상의 직류단을 갖는다. 전압 리플을 줄이기 위해 필터 커패시터는 출력 단에 존재한다. 마지막으로 출력 부하 단에 위치한 유도 전동기는 입력 단의 가변되는 전압 및 주파수에서도 일정한 속도로 제어된다.

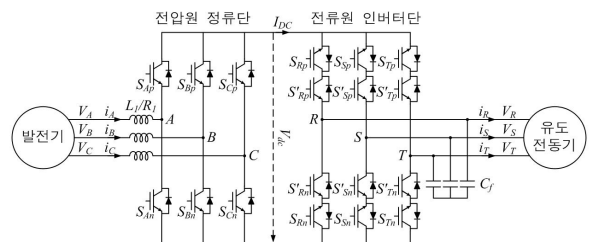


그림 1 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지  
Fig. 1 Topology of reverse matrix converter

#### 2.2 제어 방법

역방향 매트릭스 컨버터로 유도 전동기를 구동하기 위해 제안된 제어 블록도는 그림 2와 같다. 발전기에 의해 입력 단의 전압 및 주파수가 가변되므로 유도 전동기의 일정 속도 제어를 위해 적합한 제어 방법이 설계되어야 한다. 역방향 매트릭스 컨버터의 제어 시스템은 발전기와 유도 전동기 두 부분의 전류 제어가 필요하다. 발전기 부분의 전류는 전압원 측 전류이고, 유도 전동기 부분의 전류는 전류원 측 전류이다.

#### 2.3 전압원 측 전류의 제어

본 논문에서는 발전기로 영구자석 동기 전동기를 사용하므로 전압원 측 전류에서 d 축 전류( $i_{G,de}$ )는 0으로 제어한다. q 축 전류( $i_{G,qe}$ )는 유효 전류이며, 직류단 전압( $V_{dc(av)}$ ) 제어기로부터 계산된 값으로 제어된다. 직류단 전압 제어기는 직류단 전압을 정규화시키기 위해 필요하다. 또한, 직류단 전압을 일

력 전압의 1/0.866보다 큰 전압으로 유지하기 위해 필요하다. 입력 전압보다 가상의 직류단 전압이 작은 경우, 전압원 측의 전류는 제어될 수 없다.

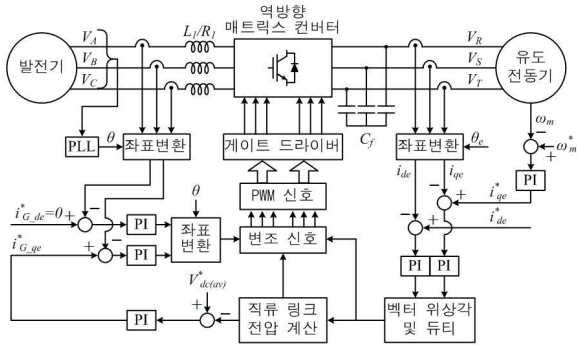


그림 2 유도 전동기를 구동하기 위해 제안된 역방향 매트릭스 컨버터의 제어 블록도  
Fig. 2 Control block diagram of proposed reverse matrix converter driving an induction motor

### 2.4 전류원 측 전류의 제어

전류원 측 전류의 좌표 변환 시에는 유도 전동기의 동기 각 속도를 이용한 위상각( $\theta_e$ )이 사용된다. d 축 전류( $i_{de}$ ) 및 q 축 전류( $i_{qe}$ )는 각각 유도 전동기의 자속 및 토크와 관계가 있다. 그러므로 전류원 측 d 축, q 축 전류는 각각 무효, 유효 전류이기 때문에 d 축 지령 전류는 자속 추정으로부터 계산되고, q 축 지령 전류는 모터 속도 제어기로부터 계산된다.

### 3. 시뮬레이션 검증

제안된 역방향 매트릭스 컨버터를 이용한 유도 전동기의 일정 속도 제어 기법의 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다. 시뮬레이션에서 사용된 유도 전동기의 파라미터는 표 1과 같다.

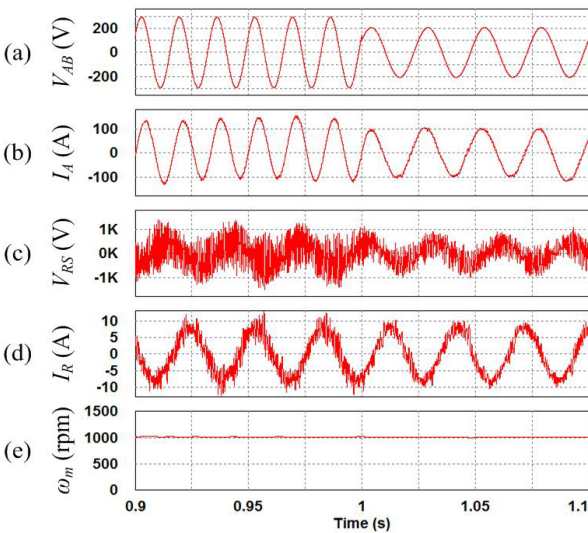


그림 3 가변되는 전압 및 주파수에서의 모터 속도 제어 시뮬레이션 결과 파형  
Fig. 3 Simulation results of the motor speed control in the variable voltage and frequency

표 1 유도 전동기의 파라미터  
Table 1 Induction motor parameters

파라미터	값	파라미터	값
$R_s$ ( $\Omega$ )	1.366	$R_r$ ( $\Omega$ )	2.546
$L_r$ (H)	0.00783	$L_m$ (H)	0.1371
Pole	4	$J$ ( $\text{kgm}^2$ )	0.00179

그림 3은 발전기에 의해 전압 및 주파수가 가변되더라도, 유도 전동기를 일정 속도로 제어하는 시뮬레이션 파형을 나타낸다. (a)와 (b)는 입력 선간 전압 및 입력 상 전류를 나타내고, (c)와 (d)는 출력 선간 전압 및 출력 상 전류를 나타낸다. (e)는 유도 전동기의 속도 파형이다. 입력 전압 및 주파수는 1초 이후 각각 170  $V_{rms}$ 에서 120  $V_{rms}$ 로, 60  $Hz$ 에서 40  $Hz$ 로 가변된다. 입력 단의 전압과 주파수가 가변되는 상황에서도 모터의 속도는 일정한 속도 1000  $rpm$ 으로 제어되는 것을 확인할 수 있다. 또한 출력 전압이 승압 되는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

역방향 매트릭스 컨버터에 의해 구동되는 유도 전동기는 발전기에 의해 입력 전압과 주파수가 가변되더라도 제안된 역방향 매트릭스 컨버터 제어 기법을 통해 일정 속도로 제어된다. 제안된 제어 기법은 전압원 측과 전류원 측의 전류를 모두 제어하고, 직류단 전압 제어를 통해 제어의 안정성을 확보한다. 역방향 매트릭스 컨버터는 입력 전압의 크기보다 출력 전압의 크기가 더 높은 승압 모드로 동작하기 때문에 발전기가 낮은 전압을 발생하더라도 유도 전동기는 일정 속도로 제어될 수 있다. 시뮬레이션을 통해 역방향 매트릭스 컨버터를 이용한 유도 전동기 제어 기법의 타당성을 검증했다.

### 참고 문헌

- [1] Y. Bak, E. Lee, and K. B. Lee, "Indirect Matrix Converter for Hybrid Electric Vehicle Application with Three Phase and Single Phase Outputs", *Energies*, vol. 8, no. 5, pp. 3849–3866, Apr. 2015.
- [2] K. Park, K. B. Lee, and F. Blaabjerg, "Improving Output Performance of a Z Source Sparse Matrix Converter Under Unbalanced Input Voltage Conditions", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 4, pp. 2043–2054, Apr. 2012.
- [3] J.W. Kolar, F. Schafmeister, S.D. Round, and H. Ertl, "Novel Three Phase AC AC Sparse Matrix Converters", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 5, pp. 1649–1661, Sep. 2007.
- [4] X. Liu, P.C. Loh, P. Wang, F. Blaabjerg, Y. Tang, and E.A. Al Ammar, "Distributed Generation Using Indirect Matrix Converter in Reverse Power Mode", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 3, pp. 1072–1082, Mar. 2013.