

# 고용량 교류전동기 구동시스템의 회생제동을 포함한 직류링크회로 제안

김지수, 손지훈, 김태우, 강준석, 최명수, 김태웅  
경상대학교

## Proposed DC-link Circuit with Dynamic Regenerative Braking of High Power AC Motor Drive System

Ji-Su Kim, Ji-Hun Son, Tae-Woo Kim, Jun-Seok Kang, Myeong-Soo Choi  
Tae-Woong Kim  
Gyeongsang National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 3상 다이오드정류회로로 구성된 AC-DC 컨버터, 그리고 인버터로 구성된 고용량 교류전동기의 구동시스템에 있어서 돌입전류제한용 저항과 직류링크 과전압방지용 회생저항의 2가지 기능을 하나로 묶은 하이브리드 저항을 이용한 직류링크회로와 이에 대한 시뮬스제어를 제안한다. 이를 통해 기존 직류링크회로에 비하여 가격경쟁력을 갖추고 돌입전류 및 과전압을 효율적으로 제어할 수 있도록 하고, 시뮬레이션 해석을 통하여 이에 대한 유효성을 검증한다.

### 1. 서론

컴프레서는 공장, 사업장 전체 소비전력의 20~30%를 차지하는 최대 에너지 다소비 유체기계중의 하나로써 체계적인 제어시스템이 요구되며, 고효율 컴프레서개발을 위해 가변속 전동기를 채용하여 고효율운전을 향상하는 것이 필수적이며 교류전동기와 인버터 조합에 의한 가변속 제어를 통해 이루어진다.[1]

고용량 컴프레서 전동기를 제어하기 위한 전력변환시스템의 주회로 구성은 3상 다이오드정류회로로 구성된 AC-DC 컨버터, 직류링크회로, 그리고 가변속 인버터로 이루어지며, 직류링크회로는 초기돌입전류를 제한하기 위해 돌입전류제한회로 및 회생전류에 의한 직류링크의 과전압을 방지하기 위한 회생제동회로로 구성된다.[2]

교류전동기 구동시스템은 고용량으로 높아질수록 전력변환시스템의 부피와 가격이 상승되기 때문에 이에 대한 다양한 대책이 마련되고 있다. 특히 직류링크회로에 있어서 전해커패시터의 비중이 제일 커서 작은 커패시터를 이용한 다양한 직류링크 토폴로지 및 제어기법을 통해 해결하고자 하는 연구개발이 이루어지고 있지만, 추가적인 하드웨어 구성 및 복잡한 제어기법이 필요하다는 단점이 있다. 그리고 회생제동회로 및 돌입전류제한회로도 고용량 구동시스템에 있어서는 반드시 필요한 구성회로이며 각 회로에 저항이 포함되어 있어 구동시스템의 가격 및 부피가 상승하는 문제점이 발생되고 있지만, 이와 관련되어 고용량 교류전동기 구동시스템의 가격경쟁력 및 부피최소화, 그리고 부품 최소화하기 위한 연구가 제한적으로 이루어지고 있다.

본 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 기존 직류링크회로의 문제점을 고찰한 후, 돌입전류제한 및 회생제동용 저항을 한 개로 줄인 하이브리드저항을 설치하고 회생제동 스위칭소자를 제어하는 새로운 직류링크 토폴로지를 제안한다. 제안 토폴로지는 기존의 직류링크회로와 같은 동일한

성능을 구현할 수 있으며 시뮬레이션 해석을 통하여 유효성을 검증한다.

### 2. 제안 직류링크회로

돌입전류방지 및 회생제동을 포함한 기존 직류링크회로는 그림 1(a)에 보여준다. 본 그림에 있어서 돌입전류 방지회로는 3상정류회로의 후단에 파워릴레이와 병렬로 연결된 저항으로 구성되어 있고, 인버터 전단에는 회생제동회로가 연결되어 있으며 다이오드와 병렬로 연결된 저항, 그리고 스위칭소자가 직렬로 구성되어 있다.

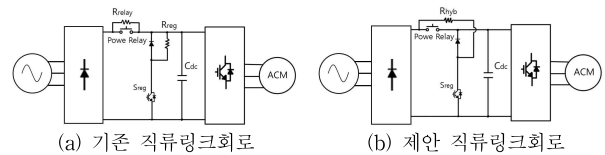


그림 1. 직류링크회로

#### 2.1 돌입전류방지회로

범용 인버터에서는 직류링크회로에 설치되어 있는 전해콘덴서에 대하여 전원 투입시에 큰 돌입전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 돌입전류 제한저항을 구비하고 있다. 전원 투입시 이외에는 돌입전류 제한저항과 병렬로 접속된 파워릴레이가 동작하여 돌입전류 제한저항에 전류를 흘리지 않도록 하여 손실을 최소화 하고 있다. 구동시스템이 고용량화 될수록 직류링크단 전해콘덴서의 용량이 커져 사용자 요구에 따라 돌입전류억제용 저항용량이 달리 선정된다.

예를 들어 입력 3상전원이 380V/60Hz, 직류링크단 전해콘덴서가 3300uF/1200V (10000uF/400V 3개 직렬연결 구성)으로 구성되어 있을 경우에 시정수를 3초로 설정하면 돌입전류 억제저항  $R = \tau/C$ 로 계산되어 900ohm, 최대 돌입전류는 0.6A가 되며 저항의 와트는 약 330W로 되어 900ohm/330W 파워저항이 별도로 필요하게 된다.

#### 2.2 회생제동회로

인버터로 구동하는 교류전동기는 제동하거나 속도를 줄이게 되면 전동기는 4상한운전 중 제동운전을 하게 되며 전동기는 관성이 있어 발전기 역할을 하게 된다. 회전하고 있는 전동기에서 발생하는 회생전력을 소모하기 위해서는 회생제동회로가 필요하며 이는 신속하게 정지, 저감 혹은 역회전과 같은 4상한 운전성능을 향상시키기 위한 것이다. 회생제동회로는 반드시

필요한 것은 아니지만 고용량으로 갈수록 역기전력이 크게 되어 직류링크전압이 과전압되지 않도록 하고 또한 전력용 반도체 스위칭소자의 파손을 막고 회생되는 전력을 흡수하기 위한 목적으로 설치가 필요하다. 범용 인버터는 자체적으로 약 20%의 제동토크를 갖지만 회생제동회로를 이용하면 100% 이상의 제동토크를 가질 수 있다.

일례로 (주)야가와전기에서 제시한 고용량 서보전동기 용량에 따른 회생제동저항 설계를 표 1에 보여준다.[3]

표 1. 교류전동기의 용량별 회생제동저항 설계

supply voltage	SERVOPack Model	resistance	capacity
3 phase 400V	750J (22kW)	6.7Ω	3.6kW
	101J (30kW)	5Ω	4.8kW
	131J (37kW)	3.8Ω	7.2kW

### 2.3 하이브리드 직류링크회로 제안

기존 직류링크회로의 문제점을 고찰한 후, 돌입전류제한 및 회생제동용 저항을 한 개로 줄인 하이브리드저항을 설치하고 회생제동 스위칭소자를 제어하여 기존 직류링크회로의 성능이상을 구현할 수 있는 새로운 직류링크 토폴로지를 제안한다.

그림 1(b)에 보여준 제안 직류링크회로는 저항이외에는 기존 직류링크회로와 동일하며 파워릴레이의 전단과 다이오드 및 스위칭소자의 중간에 저항(여기서, 하이브리드 저항으로 칭함)을 연결하고 돌입전류제한 및 회생제동으로 검입하여 동일한 기능을 구현할 수 있다. 동작모드에 따라 제안한 직류링크회로는 전원투입 동작모드, 회생제동 동작모드, 모터링 동작모드, 전원투입이전 동작모드인 4가지 동작모드로 구분된다.

전원투입 동작모드에 의한 전력흐름은 그림 2(a)에 보여주며 파워릴레이, 하이브리드저항, 스위칭소자를 이용하여 전원투입시 초기돌입전류를 억제할 수 있도록 구성된다.

회생제동 동작모드에 의한 전력흐름은 그림 2(b)에 보여주며 파워릴레이는 항상 턴온상태를 유지한 상태에서 스위칭소자를 제어하면 직류링크전압을 과전압 방지하기 위하여 전동기의 회생전력을 하이브리드저항을 통하여 소모가능하다.

초기돌입전류억제 및 회생제동을 제외한 모터링 동작모드에 의한 전력흐름은 그림 2(c)에 보여주며 3상 정류회로에 의해 얻어진 직류를 파워릴레이를 통해 흘러 직류콘덴서에 충전되고 이를 인버터에 의해 전동기측으로 공급하게 된다.

전원투입이전 동작모드에 의한 전력흐름은 그림 2(d)에 보여주며 직류링크회로에 있어서 전력공급이 차단되어 있음을 알 수 있으며 파워릴레이는 턴오프상태, 스위칭소자도 턴오프상태를 유지하게 된다.

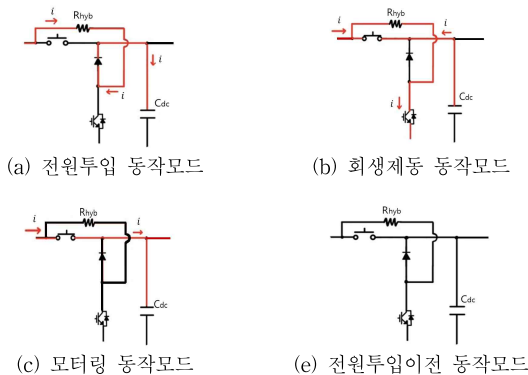


그림 2. 동작모드에 따른 제안 직류링크회로의 전력흐름

### 3. 시뮬레이션 해석

PMSM인 교류전동기를 가감속운전할 수 있도록 속도제어 및 벡터전류제어로 제어시스템을 구성하고 본 논문에서 제안한 직류링크회로를 포함한 주 회로인 전력변환시스템(AC/DC 정류회로 및 인버터)를 구성하였고 이를 통해 교류전동기에 대한 4상한 운전이 가능하다. 교류전동기를 4상한 운전시 가속한 후 감속모드로 전환되었을 경우에는 회전방향에 따라 정회전제동(제4상한 영역) 혹은 역회전제동(제2상한 영역)으로 옮겨가 전동기가 발전모드로 바뀌어 회생전력이 발생되어 전동기에서 직류링크회로 전류가 흐르게 되어 직류링크 전해콘덴서에 충전되면서 과전압이 발생하게 되어 일정전압이상이 되면 회생스위칭소자를 제어하여 회생제동을 하도록 해야 한다. 여기서 입력전원은 3상 380Vrms/60Hz, 지령속도는 3000rpm, 직류링크 기준전압은 560V로 히스테리시제어를 통해 회생스위칭소자를 제어하였다.

그림 3은 상기에서 기술한 시뮬레이션사양을 기준으로 시뮬레이션을 수행하였고 감속모드에서 회생전력이 발생되어 본 논문에서 제안한 직류링크회로에 의해 직류링크전압이 일정한 기준전압이하로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

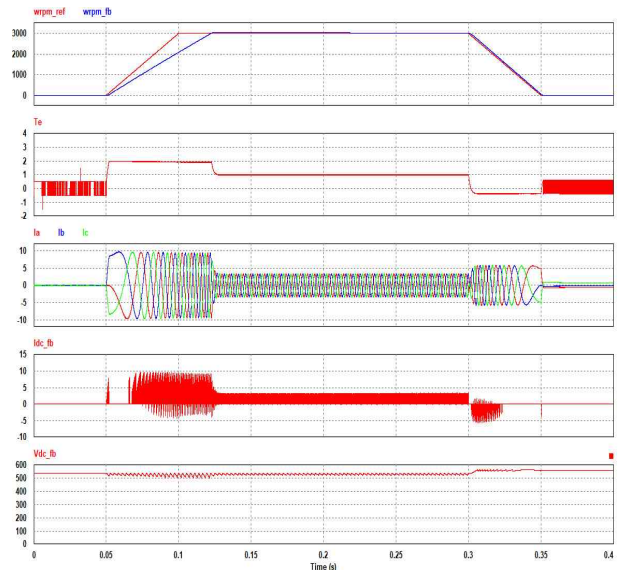


그림 3. 제안 직류링크회로를 적용한 교류전동기의 가감속운전에 따른 시뮬레이션 파형; (a) 지령속도 및 실제속도, (b) 부하토크, (c) 전동기 3상전류, (d) 직류링크전류, (e) 직류링크전압

### 3. 결론

본 논문에서는 돌입전류제한 및 회생제동용 저항을 한 개로 줄인 하이브리드저항을 설치하고 회생제동 스위칭소자를 제어하는 새로운 직류링크 토폴로지를 제안하였다. 제안 토폴로지는 기존의 직류링크회로와 같은 동일한 성능을 구현할 수 있으며 시뮬레이션 해석을 통하여 유효성을 검증하였으며 고용량 교류전동기의 구동시스템의 부품최소화를 통해 가격경쟁력 향상을 기대할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 김형준, 박효원, 한창우, 김현수, 김지수, 최명수, 김태웅, “킴프레서용 인버터기반 유도전동기의 속도센서리스 제어,” 2018년 전력전자학술대회, pp.418-419, 2018
- [2] 박경훈, 한경식, “인버터를 이용한 유도전동기 감속 성능 개선,” 2011년 전력전자학술대회, pp.296-297, 2011
- [3] “AC Servo Drivers LARGE-CAPACITY  $\Sigma$ -V SERIES,” YASKAWA, pp.79-80, 2017