

전자기형 리타더의 전력회수장치를 위한 전압제어

정성철*, 유창희**, 조현종**, 고종선*
단국대학교 전자전기공학부*,(주)상신브레이크**

Voltage Control for Electromagnetic Retarder's Power Recovery Device

Jung sung chul*, Yoo chang hee**, Jo hyun jong**, Ko jong sun*
Department of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University*, Sangshin Co.,Ltd.**

ABSTRACT

시중의 대형 버스 및 트럭 등 같은 경우, 부하가 아주 크다. 또한 내리막길이나 장거리 운행 시에 잦은 제동으로 인하여 마찰을 이용한 기존 방식의 브레이크들은 브레이크 파열 및 페이드 현상 때문에 제동 안전성에 문제가 있다. 이러한 제동 부담을 분담하기 위해 현재 보조브레이크(리타더)가 필수적이며, 엔진 계통의 보조브레이크가 아닌 비접촉식 브레이크 같은 친환경 보조브레이크가 요구되고 있다. 그리고 차량 제동 시 발생하는 기계에너지를 전기에너지로 회생하여 에너지효율을 향상시키려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다.[1]

본 논문에서는 와전류를 이용한 전자기형 리타더에서 발생하는 전기에너지를 회수하기 위한 전압 제어 방법을 다룰 것이다. 제동에너지를 전기에너지로 회생하기 위해 LC 공진회로로 구성하였다. 그리고 기존에 리타더에서 발생하는 전압을 간략히 다상변압기로 구현하였다. 또한 좀 더 실제 리타더와 가깝게 재현하기 위하여 유도발전기 모델로 변경하여 시뮬레이션을 진행하였다. 제어장치의 구동펄스에 따라 바뀌는 공진회로의 전압을 분석하였으며, 이 전압을 제어하기 위하여 PI 제어기를 이용한 알고리즘을 제안하였다. 끝으로 Matlab Simulink를 이용하여 리타더의 모델과 그 제어기의 타당성을 보였다.

1. 서 론

리타더는 부하가 큰 대형 버스나 트럭의 제동 안전성을 높일 수 있다. LC 공진을 이용한 회생제동 원리는 회전자(Drum)의 잔류자계에 의해 코일에 전압을 유도하고 공진에 의해 3상 교류전원이 발생하게 된다. 이 전류에 의해 회전자계가 생성되는데, 이 회전자계와 회전자 속도 차에 의한 와전류가 회전자에 발생하게 되면 와전류의 전기적 에너지 손실 i^2R_c 에 의하여 제동력이 발생된다. 이 제동에너지 일부를 전기에너지로 회생하여 에너지를 절감할 수 있다. 이 회생에너지의 3상 전압은 컨버터를 통해 배터리에 충전하거나 직접 대형차량의 교류부하에 대해 적용할 수 있다.

본 연구에서는 리타더를 유도발전기로서의 모델링 하고 그리고 리타더에서 발생하는 전압 제어 방법을 다룬다. 리타더 코일에 유도되는 전압은 자동차의 속도에 따라 크기와 주파수의 변동이 생긴다[2]. 시뮬레이션을 통해 전압 값이 효율이 좋고, 에너지 회수가 용이한 L, C의 소자 값과 스위치 제어 알고리즘을 파악한다. 그리고 제어알고리즘에 따라 PI제어기를 통해

전압을 제어하는 제어기를 제안하였다. 이 공진으로 얻어진 전압은 차량내부에서 사용되며 동시에 제동력을 얻게 된다. 결과적으로 제동에너지를 회수함으로써 풋 브레이크와 리타더의 온도상승을 막을 수 있다

2. 리타더의 전압제어

2.1 리타더 유도발전기 모델링

리타더는 회전자에 있는 잔류자계가 고정자인 LC 공진회로에 자기장에 의한 전류를 발생시킨다. 이 전류는 다시 회전자에 전류를 유기 시키는 원리로 동작한다. 서로 간의 상호 작용을 이루다가 BH곡선에 의해 유도발전기의 발전되는 전압은 포화상태에 이르게 된다. 따라서 전자기형 리타더는 유도발전기로 모델링 할 수 있다. 그리고 자동차 주 속도에 따른 주파수를 계산하여 고정자의 L과 C의 값을 조정하여 공진주파수로 맞춰주면 LC 공진회로에 최대 전압을 발전시킬 수 있다. 발전을 위해 회전자계의 주파수는 회전자의 주파수보다 작으며, 주파수 차이에 의해 와전류가 생긴다. 그러므로 와전류 손실이 생기고 열이 나면서 기계에너지가 다른 에너지로 바뀌게 되며 에너지회수와 제동을 동시에 할 수 있다.[3]

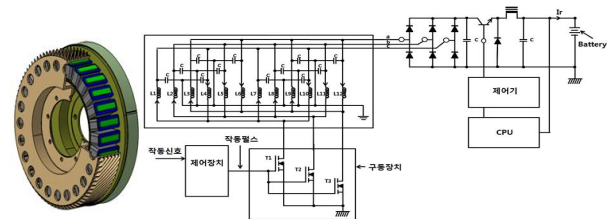


그림 1 리타더 전력회수를 위한 전체적인 시스템
Fig. 1 Overall system for retarder power recovery

위 그림 1은 리타더와 리타더에서 나오는 전력 회수를 위한 전체적인 시스템으로, 이 회로는 배터리에 충전시키기 위한 전압을 회수할 수 있고 효율이 좋은 전압으로 제어하기 위해 스위치(FET 혹은 IGBT)의 온/오프를 작동펄스로 제어한다.

2.2 전압 제어 시뮬레이션

리타더에서 나오는 전압을 유도발전기로 모델링 하였고 포화모드를 적용하고 잔류자속은 초기상태의 전류를 통해 구현하였다. 다음 그림 2는 제어기를 포함한 시뮬레이션 회로이다.

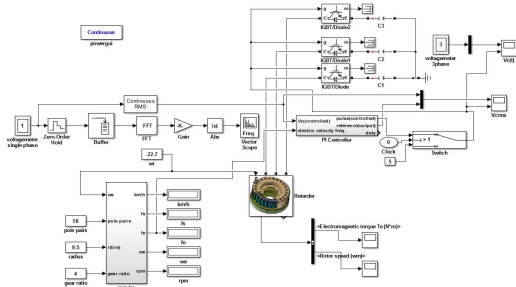


그림 2 시뮬레이션 회로
Fig. 2 Simulation circuit

시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들은 다음 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table 1 parameters of simulation

L	5.551 [mH/phase]	r(tire)	0.5 [m]
C	1080 [μ F/phase]	poles	36
f_{LC}	65 [Hz]	K_p	0.008
ω_m	22.7 [rad/s]	K_i	0.0005

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

f_{LC} 는 공진회로에서의 L 과 C 의 파라미터 값에서 나온 공진주파수로 식 (1)로 계산된다. ω_m 은 기계각속도로 차량의 바퀴와 리타더와 연결되어 있으므로 차량 속도에 해당하는 모터의 속도로 해석된다. 리타더에서 나오는 전압의 주파수(f_e)는 식 (2)와 같다.

$$f_e = \frac{poles}{2} * \frac{\omega_m}{2\pi} \quad (2)$$

ω_m 을 22.7 [rad/s]로 식 (2)로 계산하면 65Hz로 L 과 C 의 파라미터 값에서 나온 공진주파수와 같다. 그러므로 최대 전압이 출력된다. 그리고 이를 회수하기 좋은 전압(300V)으로 제어하기 위해 스위치를 온/오프 시키는 펄스의 다음 그림 3의 알고리즘으로 제어한다.

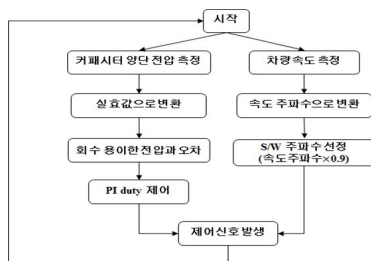


그림 2 전압제어기 알고리즘
Fig. 2 Voltage controller algorithm

3. 시뮬레이션 결과

그림 4, 5는 제안한 방법과 알고리즘을 제어기에 적용 후 시뮬레이션 한 결과이다. 처음 1초는 3상 전압을 발생시키기 위해 스위치를 온 상태로 유지한 후 제어 신호의 듀티 조절을 통해 전압의 RMS값이 목표인 300으로 제어되는 걸 볼 수 있

다.

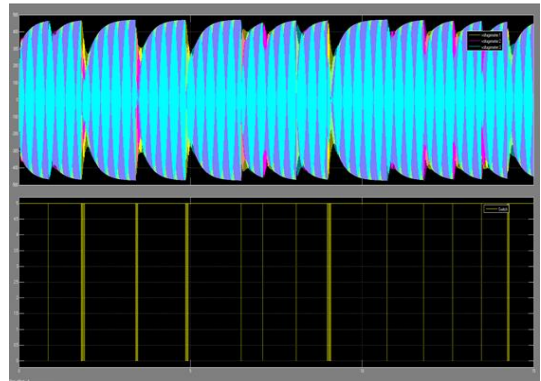


그림 4 3상 전압의 순시 전압과 제어신호펄스
Fig. 4 3phase voltage and control signal pulse

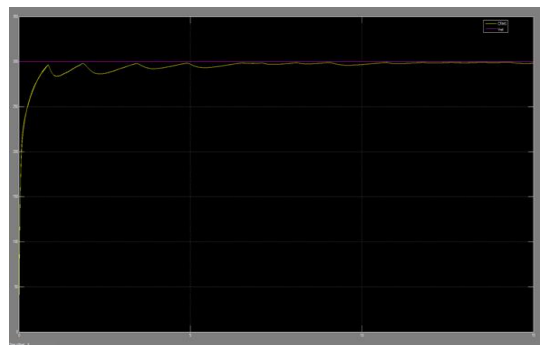


그림 5. 기준전압과 실효값 전압
Fig. 5 Reference voltage and RMS voltage

4. 결론

본 논문에서는 전자기형 리타더의 제동에너지를 전기에너지로 회수하기 위해 일정 전압제어 방법을 제시하였고 Simulink 이용해 시뮬레이션 하여 검증하였다. 기존 유도되는 전압을 구현하기 위한 변압기 모델링 보다 실제에 가까운 유도 발전기로 모델링 하였으며 제어신호의 특정 주파수와 듀티를 PI제어기를 통해 조절하여 전압을 제어하였다. 추후 와전류 등 가 저항 구현에 따른 토크 전압을 차량 속도와 LC 공진주파수가 다를 경우의 전압을 제어하는 알고리즘을 연구할 예정이다.

참고 문헌

[1] Jae Nam Bae, Yong Eun Kim, Young Wook Son, Hee Seok Moon, Chang Hee Yoo, Tae Chul Jung, Ju Lee, Kunsu Huh, and Chang Sung Jin, "Design and Analysis of a Regenerative Electromagnetic Brake", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 50 Issue 11, pl 4, 2014, 11

[2] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Steppen D. Umans, Electric Machinery sixth edition, McGrawHill, 2003

[3] 정성철, 권기현, 고종선, "전자기형 리타더의 전력회수장치를 위한 전압제어 알고리즘 모델링", 전력전자학술대회논문집, pp37 38, 2014, 11