

패시브 컨버터를 적용한 유압유닛용 SRM 제어기 설계

석승훈, 자니리양, 이동희, 안진우
 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부

Design of SR Drive Using Passive Converter for Hydraulic Pump System

Seung-Hun Seok, Jianing Liang, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
 Dept. of Electrical and Mechatronics, Kyungsoong University, Busan, Korea

Abstract - Design and drive characteristics of SR drive for hydraulic pump system using passive converter is presented in this paper. In order to get the high performance, a simple passive circuit is added in the front-end of a conventional asymmetric converter, which consists of three diodes and one capacitor. This passive converter has the high demagnetization voltage, to reduce the demagnetization time. Furthermore optimal turn-off angle for the proposed passive converter is proposed. According to motor speed and current, an optimal turn-off angle can be achieved by look-up table to reduce torque ripple. The characteristic of proposed hydraulic pump system using passive converter is verified by simulation and experimental results.

1. 서 론

유압 유닛 시스템은 건설기계, 제조공장, 운송기계 등의 산업 각 분야에 널리 응용되고 있으며, 광범위한 무단변속 특성, 제어성-완충성이 좋다는 등의 장점으로 인하여 그 활용도가 점점 증가하고 있다[1].

SRM은 전동기 구조가 매우 견고하고, 회전자에 권선이 없어 유도전동기에 비해 충분한 가격경쟁력을 가지며 기동 토크가 충분하여 초기압력 확보 및 유압시스템에서 속응성을 높일 수 있는 장점이 있다[2]-[5]. 또한 유도기에 비해 우수한 효율과 기동력으로 SRM을 가변속 전동기로 채택하면 전동기 속도 및 토크제어에 의해 유량과 유압을 동시에 제어할 수 있으므로 일반 유압 시스템에 비해서 소비전력이 낮다[6].

하지만 SRM을 구동하기 위한 비대칭 컨버터를 사용하는 일반적인 SR드라이브에서는 여자전압과 감자전압은 직류-링크 전압으로 제한되므로, 고속 구동 시 요구 되어지는 상전류를 확보하기 어렵고, 이로 인한 테일 전류로 인하여 부토크가 발생하여 출력이 감소하게 되며, 토크 딥(dip)이 증가하여 유압 시스템의 동특성 및 성능을 저감하는 문제점이 발생하게 된다.

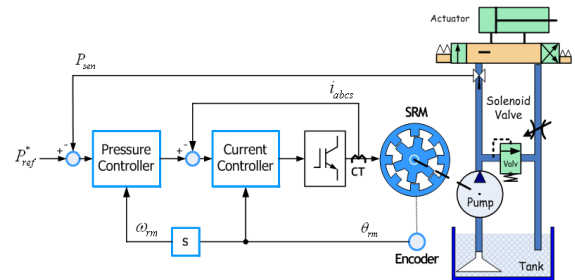
본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고, SR 드라이브의 동작 특성을 향상시키기 위하여 새로운 패시브 컨버터를 적용한다. 제안된 패시브 컨버터는 추가된 3개의 다이오드와 1개의 캐패시터를 직류-링크 캐패시터와 함께 패시브 캐패시터 회로를 가진다. 이러한 패시브 캐패시터 회로는 비대칭 컨버터 앞단에 위치하고, 추가적인 제어 없이 자동적으로 두 캐패시터를 직렬 또는 병렬로 연결할 수 있게 되고, 여자모드와 감자모드에서 2배의 직류-링크전압이 인가된다. 인가되는 전압은 상전류 오버랩 구간에서 이전 상태와 다음 상태의 전류 크기에 따라 다르게 나타남을 해석하였다. 이러한 패시브 컨버터에 의해 발생된 2배의 직류-링크 전압은 전류 소호를 빠르게 하고, 드웰각을 확장하여 토크 리플을 감소시킴으로써 유압펌프시스템의 동특성 및 성능을 향상시킬 수 있다.

또한 본 논문에서는 제안된 패시브 컨버터를 적용한 SRM의 토크리플을 감소시키기 위한 최적 턴-오프각 제어기법을 적용하였다. 제안된 제어방식은 시뮬레이션을 통하여 전동기의 회전속도와 부하전류에 대응하는 최적의 턴-오프 각을 선정하고, 전동기의 구동 시 최적의 턴-오프 각으로 제어함으로써 제안된 패시브 컨버터의 특성을 향상시킬 수 있다.

제안된 컨버터의 특성을 증명하기 위해 Matlab/Simulink 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하였다. 그리고 제안된 패시브 컨버터를 적용한 SR드라이브를 설계하여 유압시스템에 적용하고, 실험을 통하여 제안된 컨버터를 적용한 유압시스템의 특성을 실험을 통해 증명하였다.

2. 본 론

2.1 일반적인 유압펌프 시스템

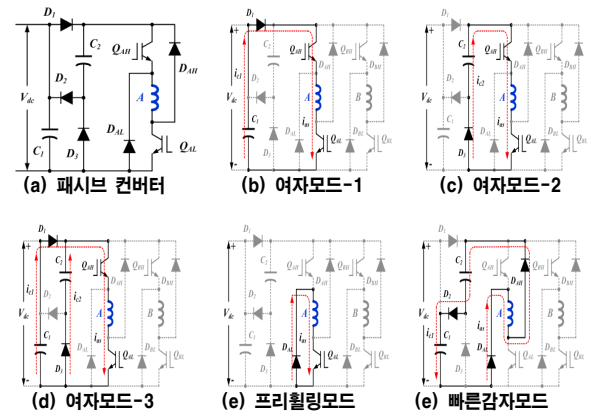


〈그림 1〉 SRM을 이용한 일반적인 유압펌프 시스템의 구성도

그림 1은 SRM을 이용한 일반적인 유압 펌프 시스템의 구성을 나타내고 있다. 유압펌프는 SRM에 직접 연결되어 있으며 유압은 유량조절 밸브와 부하조건, 전동기의 속도에 의해 조절되고 압력센서에 의해 검출되어진다. 압력제어기는 일정한 압력 지령치를 유지하기 위한 토크 또는 전류지령을 생성하고, 속도 제한기는 전동기와 펌프 보호를 위해 압력 제어기 내에 포함되어 있다.

2.2 제안된 유압펌프 시스템

2.2.1 제안된 패시브 컨버터

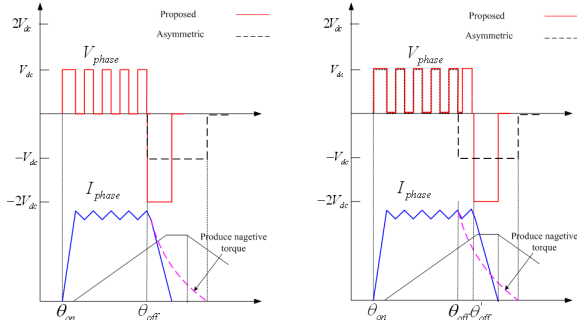


〈그림 3〉 제안된 패시브 컨버터와 동작모드

그림 3은 제안된 패시브 컨버터와 동작모드를 나타낸다. 일반적인 비대칭 컨버터와 비교하여, 부스트 캐패시터 전압의 크기에 따라 3가지 여자모드로 구분되어진다. 여자모드의 수행에서 두 캐패시터의 전압 중 큰 전압이 권선에 인가되고, 부스트 캐패시터의 전압은 자동적으로 dc-링크 전압과 평균을 유지할 수 있다. 감자모드의 경우 직렬로 연결되어진 두 캐패시터에 의해 상권선에는 2배의 dc-링크 전압이 인가되면서 전류 소호시간을 줄일 수 있다.

그림 4는 패시브 컨버터의 동작특성을 보여준다. 제안된 컨버터에 의해 발생하는 높은 감자전압은 전류 소호시간을 줄임으로써 부토크를 줄이고, 드웰각을 확장하여 토크리플을 줄임으로써, 시스템의 성능을

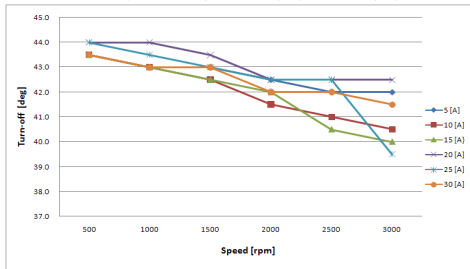
향상시킬 수 있다.



(a) 부토오크 감소
(b) 드웰각 확장
〈그림 4〉 제한된 패시브 컨버터의 동작특성

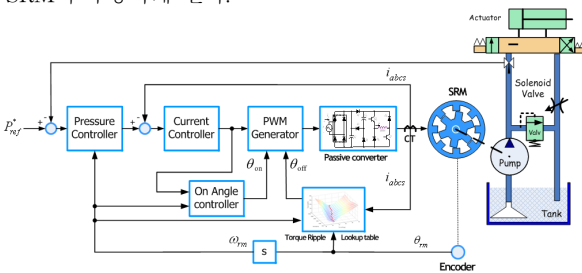
2.2.2 제한된 압력 제어 방식

본 논문에서는 제안된 패시브 컨버터를 바탕으로 SRM의 토오크리플이 최소가 되는 최적 턴-오프 각을 찾기 위하여 시뮬레이션에 의해 전동기의 속도와 전류에 따라 토오크리플이 최소가 되는 턴-오프 각을 선정하였고 시뮬레이션 데이터를 바탕으로 토오크리플에 대한 룩업 테이블을 작성하였다. 그림 5는 속도변화에 따른 턴-오프 각을 그래프로 나타낸 것이다.



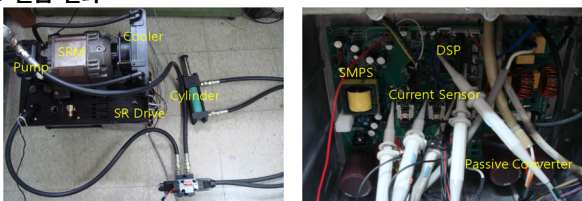
〈그림 5〉 전류와 속도에 따른 최적 턴-오프 각

그림 6은 본 논문에서 제안하는 유압펌프 시스템의 전체 블록도를 나타내고 있다. 펌프와 SRM이 직접 연결되어 전동기의 속도가 변화하면 펌프의 압력이 변화한다. 실제 압력은 압력센서로부터 구해지고, 실제 압력과 지령 압력을 비교하여 유압제어기를 통해 지령 토오크 및 지령 전류가 구해진다. 그리고 턴-온 각 제어기는 지령 전류와 속도를 입력받아 온 각을 결정하고, 본 논문에서 제안된 제어기법에 따라 실제 전류와 속도를 입력받아 룩업 테이블을 통해 최적 턴-오프 각이 결정된다. 결정된 턴-온, 턴-오프 각으로 패시브 컨버터를 구동함으로써 유압펌프 시스템의 SRM이 구동하게 된다.



〈그림 6〉 제안된 유압펌프 시스템의 전체 블록도

2.3 실험 결과

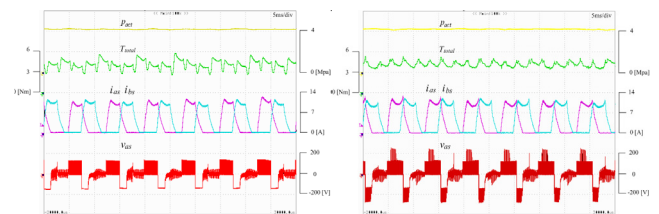


〈그림 7〉 제작된 SR 드라이버와 실험 세트

제안된 패시브 컨버터를 적용한 유압펌프 시스템의 타당성을 검토하기 위하여 실제 유압 펌프 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 실험에 적용된 유압펌프 시스템은 3상-12/8극 SRM이 적용된 모델로, 정격 유량이 25[cm³/min]이다. 실험에 적용된 제어

기는 TI(Texas Instruments)사의 DSP인 TMS320F2811-120Mhz를 적용하였고, 정격 60[A], 1000[V]의 IGBT로 패시브 컨버터를 구성하였다. 전류센서로부터 입력된 전류는 DSP에 내장된 AD 컨버터를 이용하여 검출하였다. 회전자 위치는 SRM에 부착된 엔코더로부터 DSP에 내장된 QEP 기능을 통하여 검출되고, 1.6[ms] 동안의 엔코더 펄스 수에 따라, 평균속도를 연산하였다.

그림 8은 4[Mpa], 1000[rpm]에서 일반적인 비대칭 컨버터를 적용한 유압 펌프 시스템과 제안된 패시브 컨버터를 적용한 유압 펌프 시스템의 비교 실험결과이다. 두 시스템을 같은 턴-오프 각으로 제어하였을 경우, 전류소호시간이 짧아지면서 토오크리플이 증가하였다. 하지만 그림 8(c)에서 볼 수 있듯이, 제안된 제어기법을 통해 턴-오프 각을 확장함으로써 토오크리플이 감소한 것을 알 수 있다.



(a) 일반적인 시스템
(c) 제안된 시스템
〈그림 8〉 실험 결과 (4[Mpa], 1000[rpm])

3. 결 론

본 논문에서는 가변속 제어용 전동기를 적용한 고정 용량형 유압펌프 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 새로운 패시브 컨버터를 적용한 2.2[kW] SR 드라이브를 설계·제작하고, SR 드라이브에서 일반적으로 사용되어지는 비대칭 컨버터와 비교하여 특성을 파악하고 그에 따른 적절한 제어를 위해 최적 턴-오프 각 제어기법을 제안하였다.

제안된 패시브 컨버터는 일반적인 비대칭 컨버터의 앞 단에 3개의 다이오드와 1개의 캐패시터를 추가하여 패시브 회로를 구성한다. 이 회로는 추가적인 제어 없이 자동적으로 두 캐패시터를 직렬 또는 병렬로 연결할 수 있게 되고, 여자모드와 감자모드에서 2배의 직류-링크전압이 인가된다. 이렇게 발생하는 높은 감자전압은 감자모드 시 전류소호를 빠르게 하였고, 턴-오프 각을 확장시킬 수 있었다. 확장된 턴-오프 각으로 인해 토오크리플이 감소하여 유압펌프 시스템의 성능을 향상시킬 수 있었다.

제안된 제어기법은 먼저 시뮬레이션을 수행하여 부하전류와 전동기 속도 변화에 따라 토오크리플이 최소가 되는 턴-오프 각을 룩업 테이블로 저장하고, 시스템 구동 시 실제 속도와 실제 전류를 입력받아 최적의 턴-오프 각을 설정하는 방식이다.

본 논문에서 제안하는 패시브 컨버터를 적용한 SR 드라이브를 제작하여 유압유닛 시스템에 적용하였고, 실험을 통하여 그 특성을 검증하였다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jame L. Johnson et al, "Introduction to Fluid Power", Science & Technology, 2004.
- [2] C. S. Kim, M. G. Kim, H. G. Lee and J. W. Ahn, "Development of SRM and Drive System for Small Pallet Truck" Annual Proc. of KIEE, pp.732-734, 2000.
- [3] C. S. Kim, S. G. Oh, J. W. Ahn and Y. M. Hwang, "The Design and the Characteristics of SRM Drive for Low Speed Vehicle" Annual Proc. Of KIEE, pp. 871-873, 2001.
- [4] Aly Badawy, Jeff Zuraski, Farhad Bolourchi and Ashok Chandy, "Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System" Steering and Suspension Technology Symposium, 1999
- [5] 안진우 저, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, pp1-454, 2004
- [6] 이동희, 안진우 외 2, "유압펌프용 가변속 SRM 구동시스템 설계", 전력전자학회 논문지 제 11권 제1호, pp.1~7, 2006. 2