

압력에측기법과 직접순시토크제어기법을 통한 유압펌프용 SRM의 압력제어구동

석승훈, Jianing Liang, 이동희, 안진우
경성대학교

Pressure Control Drive of SRM for Hydraulic Pump with Pressure Predict Method and Direct Torque Control Method

Seung-Hun Seok, Jianing Liang, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
Kyungsung Univ.

ABSTRACT

Direct Instantaneous Pressure Control(DIPC) method of SRM using pressure predict method is presented in this paper. A hydraulic pump system has an inherent defect that its dynamic behavior causes by interaction between the sensor and hydraulic load. It will make sometimes the whole system become oscillatory and unstable. Proposed system integrates direct instantaneous torque control (DITC) and Smith predictor to improve dynamic performance and stabilization. The proposed hydraulic oil pump system is verified by computer simulation and experimental results.

1. 서론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 간단한 구조, 높은 출력비, 넓은 속도범위, 탁월한 시동 특성 등의 장점을 가진다. 따라서 높은 속응성을 필요로 하는 유압 펌프 시스템에서의 적용이 유리하다.^{[1][2]}

일반적으로 유압 펌프 시스템은 센서의 고유 시간지연과 유체 이동 시간 때문에 시간지연이 길다. 이러한 긴 시간지연은 부캐환 제어와 PID제어 구조에서 장시간의 진동과 불안정화를 만들기 쉽다. 이러한 문제점으로 인해 시스템의 제어정수 설정이 어렵게 되어 제어기의 설계가 어렵고, 전체 시스템의 안정성 저감의 원인이 될 수 있다.

이와 함께 상의 개별적인 스위칭을 통한 토크 발생 기구로 인해 SRM에서는 토크 리플이 타전동기에 비해 크다는 단점을 가지고 있다. 따라서 전동기와 연결된 펌프의 구동에 영향을 주게 되므로 압력의 리플이 발생할 수 있는 문제를 가진다. 또한 일반적인 제어기법을 사용할 경우 이에 필요한 제어이득을 결정하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 앞서 설명된 측정압력의 지연문제를 해결하고 리플이 없는 압력제어를 위하여 스미스 예측기(simth predictor)를 통한 지연보상과 직접 순시토크제어기법(Direct Instantaneous Torque, 이하 DITC)을 적용하고자 하였다. 이를 통하여 펌프와 센서간의 기구적 문제에 의한 지연문제 해결과 안정성을 확보하고, 통적인 특성을 향상시키며 균일한 토크를 발생시켜 리플 없는 압력제어를 수행하고자 하였다. 제안된 구동방식은 시뮬레이션과 실험을 통하여 효율성을 검증하였다.

2. 제안된 유압펌프용 압력제어구동

2.1 순시토크제어를 통한 압력리플 저감

일반적으로 기어방식의 유압 펌프의 경우 회전력 및 회전속도에 따른 압력의 생성량이 비례하는 관계를 나타내게 된다. 따라서 펌프에 연결된 전동기의 토크에 리플이 발생할 경우 이에 따른 압력의 리플이 발생하게 된다. SRM의 경우 토크 발생 기구상 각 상의 개별 스위칭여자로 토크를 발생시키므로 이에 따른 토크의 리플이 존재하고, 유압펌프시스템에 적용할 경우 압력 역시 리플을 가지게 된다. 이를 본 논문에서는 DITC를 적용하여 토크의 리플을 감소하고자 하였다. 특히 DITC는 히스테리시스 제어를 기반으로 한 간단한 규칙을 이용한 기법이므로 적용의 용이성 역시 가지게 된다.

그림 1은 DITC를 적용하기 위해 SRM의 인덕턴스 변화에 따른 DITC의 제어영역을 설정한 것이며, 그림 2는 각 구간에서 적용되는 제어규칙을 나타낸 것이다. 그림 1의 1영역의 경우 토크를 발생시키기 위해 이전 상의 여자가 지속되고, 다음 상의 여자를 위해 전압을 인가하여 전류 확립하는 구간으로 그림 2의(a)에 나타난 제어규칙 1을 사용하여 토크 에러 값에 따라 스위칭을 수행한다. 2영역의 경우 이전 상을 빠르게 소호시키고 다음 상에 의한 토크가 발생되기 시작하는 구간이며 제어 규칙 1에 의해 스위칭이 수행된다. 3영역의 경우 이전상의 소호가 완료되고 다음상의 토크에 의해 전동기가 구동되며 제어 규칙 2에 의해 스위칭이 결정된다. 본 논문에서는 그림 3에서 나타난 비대칭 브릿지 컨버터의 3가지 동작모드를 사용하여 그림 2의 DITC 제어규칙을 수행 하였다.

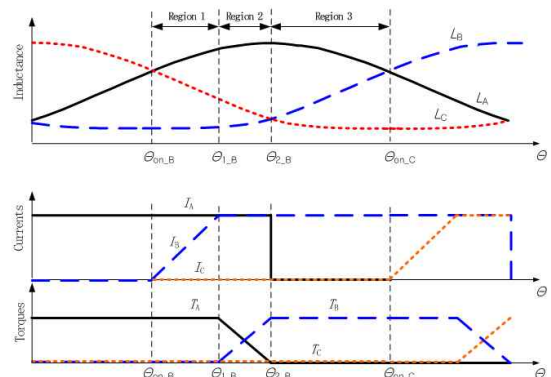
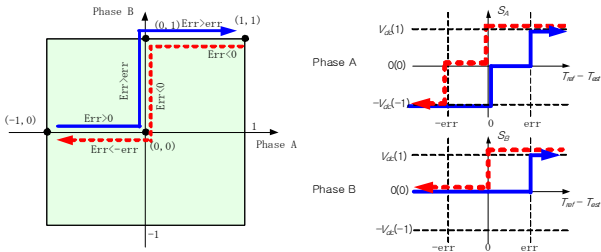
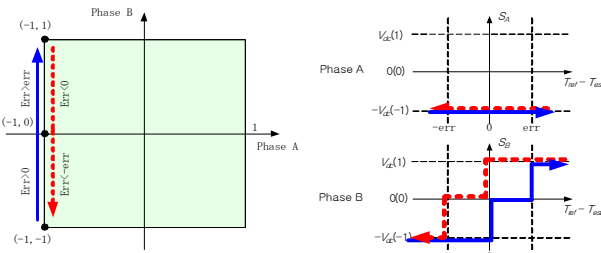


그림 1. 3구간으로 나눈 DITC기법의 원리
Fig. 1 Principle of DITC method with 3 regions



(a) 제어규칙 1



(b) 제어규칙 2

그림 2. 비대칭 컨버터를 이용한 DITC 제어규칙
Fig.2 DITC scheme with a asymmetric converter

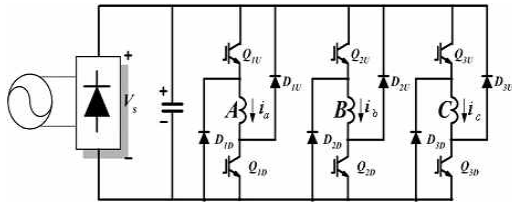
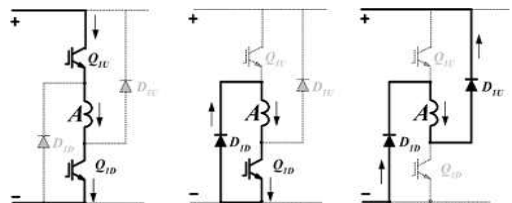


그림 3. 일반적인 비대칭 컨버터
Fig. 3 Conventional asymmetric converter



a) 여자모드(1) (b) freewheeling 모드(0) (c) 감자모드(-1)
그림 4. 비대칭 컨버터의 구동 모드
Fig. 4 Operation modes of asymmetric converter

2.2 압력에측기법(Smith Predictor)

유압 펌프 시스템은 센서의 고유 시간지연과 유체 이동 시간 때문에 시간지연이 길다. 이러한 긴 시간지연은 부채환 제어와 PID제어 구조에서 장시간의 진동과 불안정화를 만들기 쉽다.^{[3][4]} 이러한 단점을 개선하기 위해 Smith Predictor를 적용하였다. 그림 5는 Smith Predictor제어시스템의 일반적인 블록도를 보여준다.

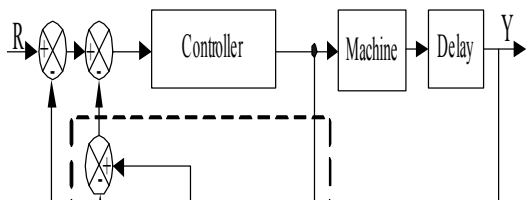


그림 5. 압력에측기법의 블록도
Fig. 5 Equivalent block of Smith predictor control system

그림 6은 제안된 DITC시스템에 Smith Predictor 제어를 적용한 블럭다이어그램을 보여준다. DITC시스템으로부터 예측된 토크와 토크-스피드 특성곡선으로부터 계산된 부하토크의 비교로 토크러가 계산되고 예측스피드는 더욱 정확해진다. 더욱 정확해진 스피드로 다시 토크를 계산하고 펌프모델로부터 구해진 압력을 보상기를 통해 보상한다.

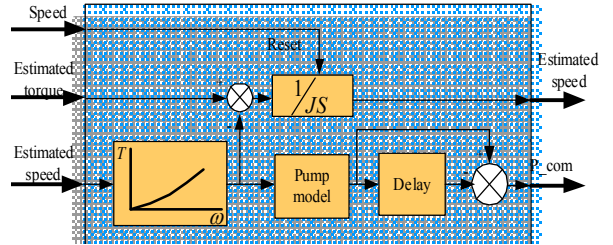


그림 6. Smith Predictor 제어를 적용한 제안된 DITC 시스템
Fig. 6 Block diagram of Smith predictor control in proposed DITC

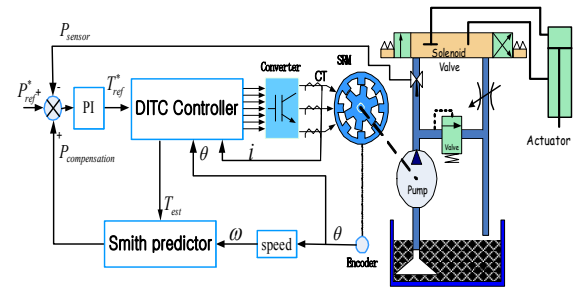


그림 7. 제안된 압력제어기법
Fig. 7 The Proposed Pressure Control Method

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션 결과

그림 8와 그림 9은 전류 초핑 제어(CCC)와 제안된 DITC의 시뮬레이션 결과를 보여준다. CCC기법의 토크리플이 DITC기법의 토크리플보다 2배정도 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

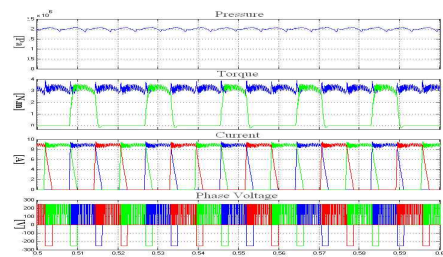


그림 8. 전류 초핑 제어 시스템의 시뮬레이션 결과[s]
Fig. 8 Current chopping control at 2[MPa]

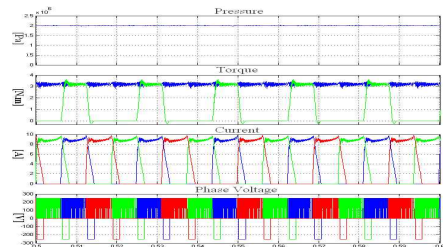


그림 9. 제안된 DITC 제어시스템의 시뮬레이션 결과[s]
Fig. 9 Proposed DITC control at 2[MPa]

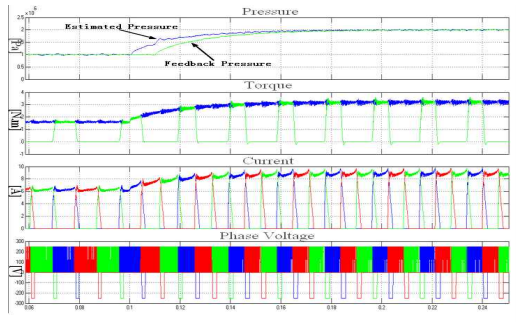


그림 10. 제안된 DITC 제어의 압력 응답 시뮬레이션 결과[s]
Fig. 10 Pressure response of proposed DITC control

그림 10은 제안된 DITC기법과 Smith Predictor 제어기법을 병합한 시스템의 시뮬레이션 결과이다. 그림 10에서 압력의 오버슈트가 줄어들었고, 정착시간이 짧아진 것을 볼 수 있다.

3.2 실험결과

시뮬레이션 결과를 바탕으로 TI사의 TMS320F2812 DSP칩을 사용한 제어기를 이용하여 실험을 수행하였다. DITC프로그램의 샘플링 시간은 25[us], Smith Predictor의 샘플링 시간은 375[us]로 실험을 수행하였다. 그림 11은 전류 초핑 제어의 실험결과이고 그림 12는 제안된 DITC기법의 실험결과이다. DITC기법의 토크리플이 CCC기법의 토크리플보다 1/2정도 감소한 것을 볼 수 있다.

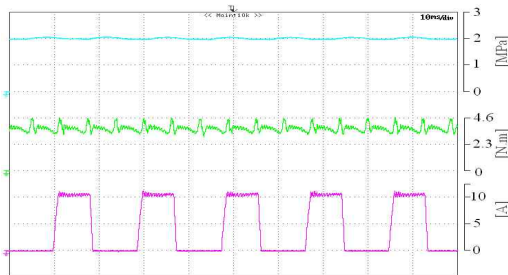


그림 11. 전류 초핑 제어의 실험결과[10ms/div]
Fig. 11. Experimental result of CCC at 2[MPa]

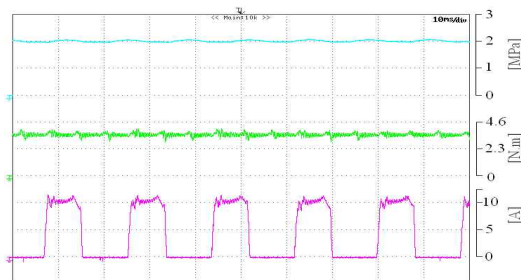


그림 12. 제안된 DITC의 실험결과[10ms/div]
Fig. 12 Experimental result of proposed DITC at 2[MPa]

그림 13은 일반적인 PI제어를 적용한 DITC의 압력 응답을 보여준다. 그림 15를 보면 안정화 시간이 150[ms]를 넘는 것을 볼 수 있다. 그림 14는 제안된 제어 구조의 압력 응답을 보여준다. 그림 14에서 오버슈트가 매우 작아졌고, 안정화 시간이

60[ms]정도인 것을 볼 수 있다.

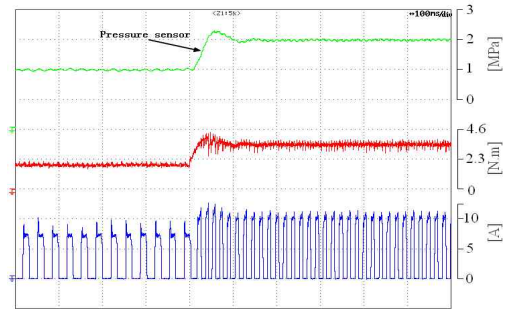


그림13. DITC에 일반적인 PI제어를 적용한 압력 응답[100ms/div]
Fig. 13. Pressure response using conventional PI control of DITC

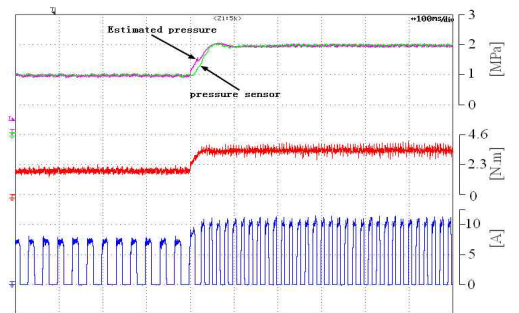


그림14. 제안된 제어 구조를 적용한 압력 응답[100ms/div]
Fig. 14 Pressure response using proposed control architecture

3. 결론

본 논문에서는 동작 성능과 안정화를 향상시키기 위해 제안된 압력예측기법(Smith Predictor)을 이용한 SRM의 직접 순시 압력 제어 기법(DITC)을 제안하였다. DITC기법을 사용하여 SRM 고유의 토크리플을 줄이고, 압력예측기법을 사용하여 입력신호의 지연을 보상하여 부궤환제어와 PID제어에서 나타나는 불안정화와 진동을 개선하였다. 제안된 기법을 증명하기 위해 수치해석 모델을 통해 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

본 연구는 2007년 Brain Busan 21사업 지원에 의해 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 안진우, “스위치드 릴럭턴스 전동기”, 오성미디어, 2004
- [2] B.C. Kim, D.H. Lee J.W. Ahn, “Performance of SR drive for hydraulic pump” Proceedings of ICEMS 2005, Vol. 1, pp.659 - 663, 27-29 Sept. 2005.
- [3] J. A. ROSSITER, Model - Based Predictive Control, CRC Press, 2003
- [4] R.C. Miall, D. J. Weir, D. M. Wolpert, J. F. Stein, “Is the Cerebellum a Smith Predictor?” Journal of Motor Behavior, 1993, Vol 25, No.3, pp.203-216