

회생에너지의 부스트인버터 구동방식을 적용한 서보시스템의 응답특성 향상

김태웅, 최재호*, 민완기**, 안진우***

경상대학교, *충북대학교, **조선이공대학, ***경성대학교

Improving Quick Response of Servo System Using Boost-Inverter with Regenerating Energy

Tae-Woong KIM, Jae-Ho CHOI*, Wan-Ki MIN**, Jin-Woo Ahn***

Gyeongsang National Univ., *Chungbuk National Univ., **Chosun College of S&T, ***Kyung Sung Univ.

ABSTRACT

The regenerating energy of the servo system is mostly consumed as heats through the regenerating resistors. For the response of the servo system to be more improved, the paper proposes the boost inverter using the regenerating energy. The proposed boost inverter has the additional capacitor installed on the DC-link circuit for charging the regenerating energy from the load. To get the better response of the servo system, the charged regenerating energy can be shortly re-applied to the output side as the finite impulse voltage, which can be controlled from information of reference voltages and feedbacked currents. It is verified by PSIM simulator that the response characteristics of the servo system using the proposed boost inverter is improved, comparing to that using the general inverter.

1. 서론

근래에 동작기계나 반송시스템, 그리고 반도체노광장치 등과 같은 산업용 서보시스템에는 직류전동기와 같은 전류응답특성을 얻기 위해 제어량을 직류성분으로 변환하여 취급할 수 있는 전류벡터제어를 적용하고 있고, 위치제어와 속도제어와 전류제어에서는 높은 응답특성이 요구되며, PI제어와 같이 일반적으로 적분기를 포함한 제어시스템으로 구성된다.

이상적인 서보시스템의 응답특성을 얻기 위해서 실제 서보시스템에 설치된 제어기의 게인을 크게 설정하지만 이상적인 서보응답특성과 달리 시스템이 불안정하게 되거나 오버슈트가 크고 감쇠진동형태의 응답특성을 얻게 된다. 서보시스템은 전동기의 용량에 의해 조작량(reference output)이 제한되고, 또한 시스템의 안정성을 고려하여 조작량을 제한할 수 있는 소프트웨어적인 리미터(limiter)가 삽입되어 있다. 적분기를 포함하고 있는 제어시스템은 조작량이 리미터의 최대치에 도달하여 포화되고, 그대로 나두면 와인드업(wind-up)현상이 발생하여 진동형태의 출력응답을 얻게 된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 지금까지도 와인드업현상을 회피하고자 하는 기법으로써 산업계에서는 비교적 설계가 용이한 리미터가 달린 적분기(Integrator with limiter, 리미터적분기)가 주로 이용된다. 리미터적분기에

서는 조작량이 포화되었을 때에 적분연산을 멈추도록 하고 있으며, 이와 같은 와인드업현상의 억제대책으로써 지금까지 많은 논문에서 발표되었고,^{[1]-[3]} 어느 정도의 유효성도 확인되었지만, 기존의 알고리즘은 소프트웨어로 구현되기 때문에 이에 대한 효과는 제한적이며 서보시스템의 응답특성을 향상시키기 위해 무조건 제어게인을 높게 설정할 수 없다. 이는 최종적으로 인버터를 통해 인가되는 전압이 제한된 입력전압이기 때문에 제어량의 포화에 의해 서보시스템이 불안정하게 되거나 아주 큰 오버슈트와 함께 감쇠진동형태의 응답특성을 가지기 때문이다.

서보시스템의 운전시에는 가감속의 빈도가 많아 회생에너지가 발생한다. 대부분의 서보시스템에 있어서 회생된 에너지는 회생저항을 통해 열로써 소비하는 경우가 많고 PWM 컨버터를 사용하여 전원측으로 되돌려 보내는 경우는 매우 드물다. 본 논문에서는 회생된 에너지를 서보제어시스템의 응답특성을 향상시키는 데에 이용될 수 있도록 하기 위해 기존의 인버터시스템을 부스트인버터시스템의 구조로 개량하여 회생에너지를 직류링크회로의 별도 커패시터에 충전시키고 필요에 따라 다시 사용할 수 있도록 한다.^[4] 지령입력전압이 포화되었을 경우에 와인드업현상을 회피하고 오버슈트와 진동을 억제하기 위해 충분한 전류게인을 얻을 수 있도록 축적된 회생에너지를 출력측에 추가적으로 인가함으로써 전체출력전압을 높여 서보시스템의 응답특성을 개선한다. 이를 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 기법을 증명한다.

2. 서보시스템

서보시스템의 위치추종에 대한 속응성은 속도제어기와 전류제어기의 특성과 관련하여 고려해야만 한다. 대부분의 산업용 서보시스템은 PI 전류제어기를 최하위(내부루프)에 배치시키고, 다음에는 PI 속도제어기, 그리고 최상위 제어기로는 P형태인 위치제어기를 내부루프에서 외부루프의 순으로 배치한 직렬제어구조로 구성되어 있으며, 이에 대한 서보시스템의 구성은 그림 1에 보여준다.^[5] 이러한 구조에서 상위제어기의 응답특성은 하위제어기의 응답특성에 절대적으로 의존하는데, 결국 위치제어기의 응답주파수는 속도제어기의 최대주파수대역의 선정에 의해 결정되고, 속도제어기의 응답주파수는 전류제어기의 최대주파수대역의 선정에 결정된다. 그리고 전류제어기의 응답성은

은 PWM 캐리어주파수의 선정에 의해 결정된다.

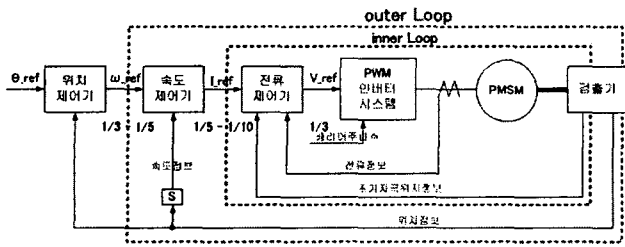


그림 1 서보시스템의 전체블록선도
Fig. 1 Overall block diagram for servo system

3. 제안된 부스트인버터

3.1 부스트인버터의 구성

서보시스템에 적용된 부스트인버터시스템은 그림 2에 보여 주듯이 기존의 인버터와 달리 회생에너지를 별도의 커패시터 (C_{aux})에 충전하고, 역병렬다이오드(D_{aux1})가 달린 IGBT와 함께 다이오드(D_{aux2})를 추가적으로 설치(그림 2에 파선 원으로 표시)하여 구성하였다.

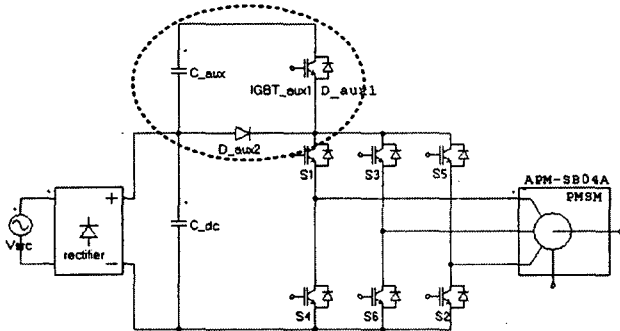
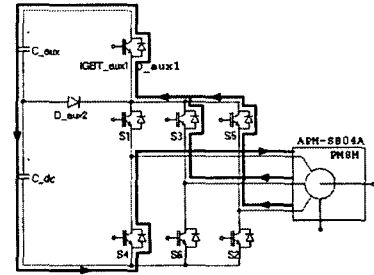


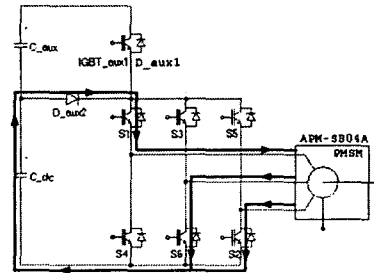
그림 2 서보시스템에 적용된 부스트인버터의 구성도
Fig. 2 Configuration of boost inverter for servo system

3.2 부스트인버터의 동작원리 및 동작모드

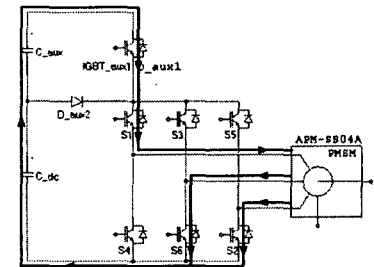
서보시스템의 응답특성은 최종적으로 내부루프 제어기인 전류제어기의 지령전압에 의해 제한되기 때문에 포화된 지령전압으로 기존의 인버터시스템을 통해서는 만족할 만한 응답특성을 얻을 수 없다. 본 논문에서 제안한 부스트인버터는 필요시에만 입력전압을 수정하도록 해 임펄스전압을 추가적으로 인가함으로써 전류응답특성을 개선할 수 있다는 원리로부터^{[3][4]} 빠른 응답특성을 요구하는 서보시스템에 제안하였다. IGBT_{aux1}은 motoring mode에서 항상 턴온시키는 것이 아니라 필요시에만 임펄스전압의 형태로 출력전압에 인가되어야 하기 때문에 지령전압과 출력전류의 정보에 의해 IGBT_{aux1}의 게이트신호가 제어된다. 그림 3(a)는 부스트인버터가 회생모드로서 동작하는 운전모드를 보여주며, 부하측에서 회생된 에너지는 직류링크회로의 별도의 커패시터 C_{aux} 에 충전된다. 그림 3(b)는 C_{aux} 에 충전된 회생에너지를 사용하지 않고 기존의 motoring mode로서 동작하는 운전모드를 보여준다. 그림 3(c)는 회생에너지를 필요시에 임펄스전압으로 출력측에 추가적으로 인가할 수 있도록 IGBT_{aux1}이 턴온시켜 boost-motoring mode로서 동작하는 운전모드를 보여준다.



(a) regenerating mode



(b) motoring mode



(c) boost-motoring mode by regenerating energy

그림 3 부스트인버터의 동작모드
Fig. 3 operating mode of boost inverter

4. 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 구성

제안한 부스트인버터를 PMSM의 서보시스템에 적용하여 본 논문에서 제안한 기법의 유효성을 확인하기 위해 PSIM에 의해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4와 같이 제안한 부스트인버터를 적용한 서보시스템을 구성하였고, 제어기에는 삼각파비교 PWM 스위칭방식을 포함하여 dq 전류제어기 및 PI 속도제어기로 구성하였으며, boost motoring mode로서 동작하기 위해 IGBT_{aux1}의 게이트신호는 출력전류 및 지령전압의 정보에 의해 제어되도록 구성하였다. 시뮬레이션에 사용된 서보시스템의 사양을 표 1에 표시하였다.

2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 5와 6은 기존의 인버터와 부스트인버터를 각각 적용한 서보시스템을 시뮬레이션에 의해 수행하여 얻은 속도 및 전류 파형을 보여주며, 그림 6의 상단(top)파형은 C_{aux} 에 축적된 회생에너지를 지령전압 및 출력전류의 정보를 이용하여 출력된 게이트신호를 보여준다. 본 시뮬레이션결과로부터 제안된 부스트인버터를 적용한 서보시스템이 기존의 인버터시스템보다 전류응답이 빠르며, 필요한 시점에서 회생에너지를 유한한 임펄스전압으로 인가함으로써 전류응답이 개선되었음을 알 수 있으며 또한 속도응답도 개선되었음을 확인 할 수 있다.

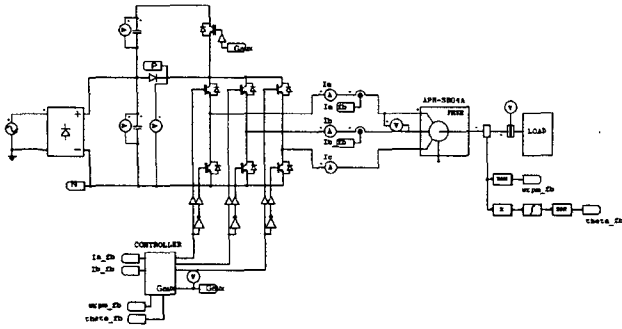


그림 4 제안된 부스트인버터를 적용한 서보시스템의 시뮬레이션
Fig. 4 Simulation block diagram of servo system using the proposed boost inverter

표 1 시뮬레이션에 사용된 서보시스템의 사양
Table 1 Spec. of servo system used in simulations

item	unit	value
PWM switching frequency	<i>kHz</i>	10
current loop gain	<i>kHz</i>	5
speed loop gain	<i>kHz</i>	1
integral time constant (current loop)	<i>ms</i>	1
integral time constant (speed loop)	<i>ms</i>	1
current loop control time	μs	20
speed loop control time	μs	100
input voltage	<i>V</i>	200
no. of pole		8
rated current	<i>A</i>	2.89
rated speed	<i>rpm</i>	3000
resistance/phase	Ω	0.82
inductance/phase	<i>mH</i>	3.66

5. 결론

본 논문에서는 서보시스템의 응답특성을 향상시키기 위해 회생에너지를 이용한 부스트인버터 구동방식을 제안하였다. 부스트인버터는 별도의 커패시터를 추가적으로 설치하여 회생에너지만을 충/방전이 가능하도록 하드웨어적으로 구성하였고 지령전압 및 실제전류의 정보를 이용하여 필요시의 짧은 시간동안에 충전된 에너지를 유한한 임펄스전압으로 인가할 수 있도록 소프트웨어적으로 제어를 보완하였으며 전류 및 속도응답특성이 향상되었다. 제안된 부스트인버터를 PMSM의 서보시스템에 적용하였고 시뮬레이션에 의해 이에 대한 유효성이 검증되었다. 이후에는 본 논문에서 제안된 부스트인버터를 실험에 의해 검증하여 보고할 예정이다.

이 논문은 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호 : R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임

참고 문헌

[1] K. Ohishi, T. Mashimo, "Design Method of Digital Robust Speed Servo System Considering Output Saturation (written in Japanese)," Transactions on IEEJ,

Vol. 119-D, No.1, pp. 88-96, 1999, January.

- [2] X. Gao, S. Komada, T. Hori, "A Method of Wind-up Restraint Control of Servo System with Torque Saturation (written in Japanese)," Transactions on IEEJ, Vol. 120-D, No.11, pp. 1321-1327, 2000, November.
- [3] B. Chatterjee, "Improved Transient Response in Servo Systems with Input Modifications," IRE Transactions on Automatic Control, Vol. 5, No. 2, pp. 152-153, 1960.
- [4] T.H Kim, D.H Lee, J.W. Ahn, Y.J. An, "Design of High Speed Drive(고속 SRM 구동시스템 설계)," Proceedings of KIEE EMECS Annual Spring Conference, pp. 95-98, 2006, April.
- [5] H. Sugimoto, M. Koyama, S. Tamai, "AC서보시스템의 이론과 설계의 실제(일본어)," 종합전자출판사, 1991.

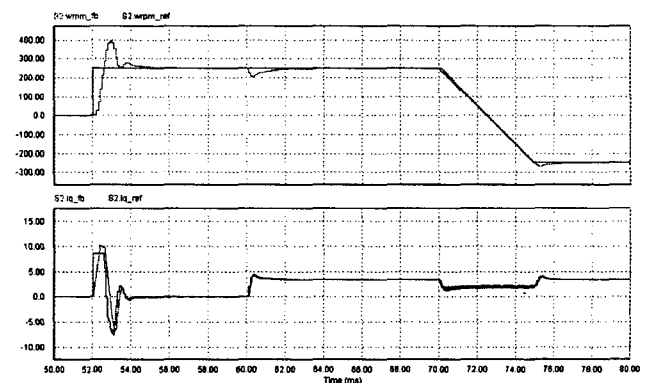


그림 5 기존 인버터를 적용한 서보시스템에서의 시뮬레이션결과
(상:속도, 하:q축전류)

Fig. 5 Simulation waveform in the servo system using general inverter(upper: ref. speed and actual speed, lower: q-axis ref. current and q-axis actual current)

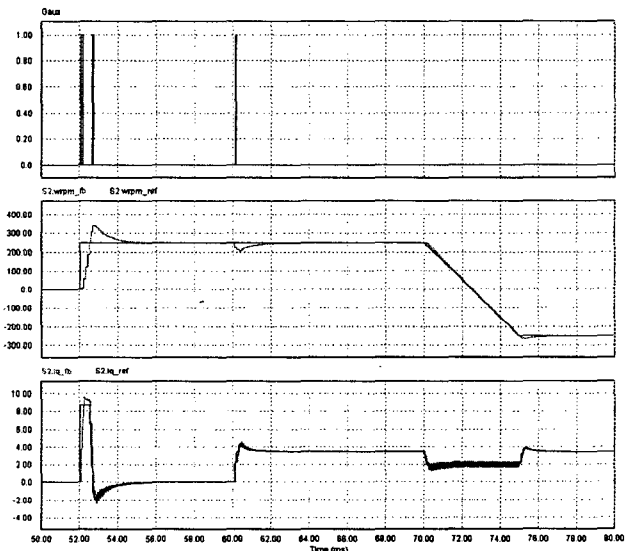


그림 6 제안된 부스트인버터를 적용한 서보시스템에서의 시뮬레이션 결과(상:회생에너지의 임펄스인가 게이트신호, 중:속도, 하:q축전류)

Fig. 6 Simulation waveform in servo system using the proposed boost inverter(top: gate signal for using regenerating energy, middle: speed, bottom: q-axis current)