

중첩구간을 고려한 DC 전동기 구동용 3상 위상제어 정류기의 모델링 기법

* 김상민, 한우용, 이창구, 김성중
전북대 전자정보공학부, 전주공업대학 전기과

Modeling Method of 3 Φ Phase-Controlled Rectifier
in consideration of the overlap interval for DC Motor Drive

* Sang-min Kim*, Woo-yong Han**, Chang-goo Lee*, Sung-joong Kim*
Chonbuk National Univ.*, Jeonju Technical College**

Abstract - This paper presents the modeling method of 3 Φ phase-controlled rectifier considering the overlap interval for the drive of DC motor in the Matlab environment. The model is constructed by the module-based method and therefore it is appropriate in the research of the closed-loop controlled power electronic system in the Matlab/Simulink environment. The model of SCR is used as the element for the power transformation. The simulation results show that the overlap interval from the effect of the input inductance is accurate.

1. 서론

Matlab/Simulink는 거의 모든 종류의 동적시스템 시뮬레이션에서 가장 널리 사용되고 있는 컴퓨터 프로그램 중 하나로서 시스템 수준에서 시뮬레이션을 수행할 때 적합하다[1][2]. Simulink 환경에서 3상 위상제어 정류기의 모델링은 보통 수학적 모델링에 기초해서 수행되는데 여기에는 많은 어려움이 따른다. 3상 정류기를 모델링하더라도 다른 시스템을 뒷단에 연결할 때는 전체 시스템을 다시 수식적으로 전개해야만한다[1][3].

본 논문에서는 모듈별 모델링 기법에 기초해서 3상 위상제어 정류기를 Simulink 환경에서 모델링하였다 [5]. 전력전자 시스템의 정류기 모델에서 각각의 모듈은 전향변수와 궤환변수를 가진다. 이 변수들은 모듈의 전후에 접속되는 회로의 속성에 따라 전류와 전압의 형태로 나타난다. 각각의 모듈은 교차 인덕턴스 모델, 교차 어드미턴스 모델, 전류 증폭 모델, 전압 증폭 모델로 분류될 수 있다. 이러한 모델링 기법으로 인해 기존의 수식적인 모델링의 복잡성을 없애고 소자 수준 시뮬레이터에서와 같이 새로운 시스템을 결합할 때 원래 시스템의 앞단이나 뒷단에 연결하면 될 수 있도록 함으로써 확장성을 획득하도록 하였다. 그러므로 특히 입력 인덕턴스의 영향으로 발생하는 중첩각을 고려한 모델링이 간단해졌다.

DC 전동기의 제어를 위한 속도제어기와 전류제어기는 모두 PI 제어기와 IP 제어기를 적절히 혼합한 2자유도 PI제어기와 시스템 동특성으로 인해 발생하는 오버슈트를 없애기 위한 Anti-Windup 기법을 결합한 제어기를 사용하였다.

전체 시스템을 시뮬레이션해 본 결과 정류기 모델의 각부 동작 파형이 실제와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

2. DC 전동기 구동을 위한 전체 시스템

3상 위상제어정류기를 이용한 DC 전동기의 구동 시스템의 Matlab/Simulink 모델은 그림 1 과 같다.

2.1 중첩각을 고려한 3상 위상제어 정류기 모델

그림 2는 중첩각을 고려한 3상 SCR 정류기의 블록도를 나타낸 것이다. 3상 정류기는 모듈별 모델링 기법을 이용하여 각 부분을 모델링하였다. 3상 정류기의 전체 모델은 전원측 인덕턴스, 3상 정류기, 출력측 LC 필터로 구성된다.

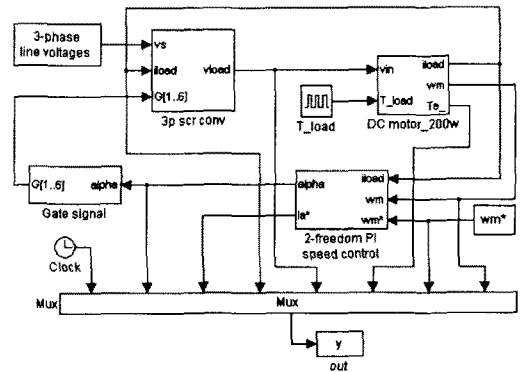


그림 1 3상 위상제어 정류기를 이용한 DC 전동기 구동 시스템의 블록도

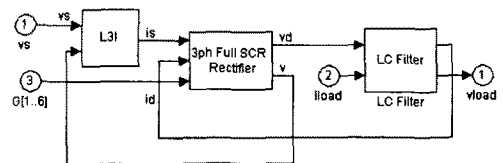


그림 2 중첩각을 고려한 3상 SCR 정류기의 블록도

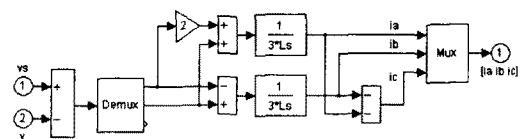


그림 3 L3I의 내부 블록도

그림 3은 L3I의 내부 블록도로서 중첩각을 발생시키는 전원측 인덕턴스의 모델이고 그림 4는 3상 정류기 모델이다.

전원측 인덕턴스와 LC 필터는 입력이 전압이고 출력이 전류인 교차 어드미턴스 모델로 표현되었고, 3상 정류기는 입력이 전류이고 출력이 전압인 교차 임피던스 모델로 표현되었다. 모델의 선정은 고정된 것이 아니고 회로를 보는 관점에 따라서 달라질 수 있다. 여기서는 전원측 인덕턴스를 교차 임피던스 모델로도 표현할 수 있지만 뒷단의 정류기로부터 귀환되는 변수가 전압이기 때문에 교차 어드미턴스 모델로 표현한 것이다.

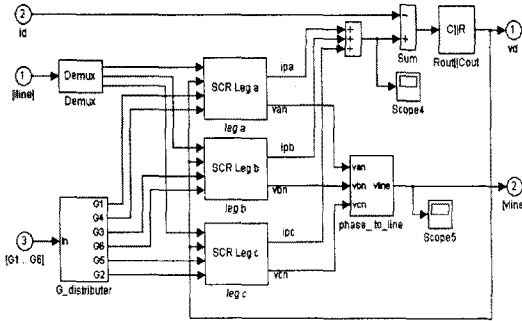


그림 4 3ph Full SCR Rectifier의 내부 블록도

2.2 DC 전동기 모델

DC 전동기의 모델식은 식 (1)과 같다[4].

$$\begin{aligned} V_{in} &= R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_g \\ T_e - T_{load} &= J_m \frac{dW_m}{dt} + B_m W_m \\ T_e &= K_t I_a \\ E_g &= K_b W_m \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 V_{in} : 입력전압, I_a : 전기자 전류,
 T_{load} : 부하 토크, T_e : 전동기 토크,
 E_g : 역기전력, W_m : 전동기 회전속도

식 (1)을 식 (2)와 같이 적분형으로 변형하여 모델링한다.

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{1}{L_a} \int (V_{in} - R_a I_a - E_g) dt \\ W_m &= \frac{1}{J_m} \int (T_e - T_{load} - B_m W_m) dt \end{aligned} \quad (2)$$

정류기의 전압과 부하 토크가 입력이고, 전류와 전동기의 속도 및 토크가 출력이다. 전류는 3상 정류기로 귀환되고 속도는 속도제어기로 귀환되어 전류 지령치를 발생시킨다.

시뮬레이션에 사용된 DC 전동기(1.5kw)의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 DC 전동기 파라미터

역기전력 상수 (K_b)	0.450 [V · s/rad]
토크 상수 (K_t)	0.450 [N · m/A]
전기자 저항 (R_a)	2.500 [Ω]
전기자 인덕턴스 (L_a)	0.017 [H]
관성능률 (J_m)	0.087 [N · m · sec ² /rad]
마찰계수 (B_m)	0.012 [N · m · sec/rad]

2.3 전류/속도 제어기

전류와 속도 제어를 위해서 Anti-Windup 제어기와

2자유도 PI 제어기를 결합한 제어기를 사용하였다.

제어기 출력을 제한함으로써 과도상태시 발생하는 제어기의 포화현상과 이로인한 적분기항이 매우 커지는 Windup 현상을 막기위해 Anti-Windup 기법을 사용하였다.

PI 제어와 IP 제어의 장점을 혼합한 2자유도 PI 제어기는 속도제어에 사용했을 때 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Gamma_a = \left(\beta K_\phi + \frac{K_{si}}{s} \right) \cdot (W_m^* - W_m) - (1 - \beta) \cdot K_{sp} \cdot W_m \quad (3)$$

여기서 K_{sp} : 비레이득, K_{si} : 적분비득
 β : 0 ~ 1사이의 값

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 2와 같이 선정하였다.

표 2 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 시간	2.00 [sec]
Integration method	ode15s(stiff/NDF)
최대 스텝시간	0.0001 [sec]
상대 허용오차	0.001
절대 허용오차	0.0001

그림 5(a)는 전동기 회전속도의 기준값이 100 [rad/sec]일 때 주기 1.4 [sec], duty cycle 50%, 5.85[Nm]인 부하 토크를 1.4 [sec]부터 인가한 경우의 결과 파형을 나타내며, 그림 5(b)는 0.5500~0.5667 [sec] 사이에서 지연각에 따른 3상 정류기의 출력 전압 파형을 나타낸다.

그림 6(a)는 전동기 회전속도의 기준값이 180 [rad/sec]일 때 주기 1.4 [sec], duty cycle 50%, 5.85[Nm]인 부하 토크를 1.4 [sec]부터 인가한 경우의 결과 파형을 나타내며, 그림 6(b)는 1.0500~1.0667 [sec] 사이에서 지연각에 따른 3상 정류기의 출력 전압 파형을 나타낸다.

5. 결 론

본 논문은 중첩각을 고려한 3상 위상제어 정류기에 의한 DC 전동기 구동 시스템을 Matlab/Simulink 환경에서 구현하였다. 모델별 모델링 기법을 이용하여 3상 정류기를 설계함으로써 수식적인 전개와 필요성이 없어졌고 각 부분별 수정이 용이하고 새로운 시스템과의 연계가 간단해졌다.

속도/전류제어를 위해 Anti-Windup 기법을 포함하는 2자유도 PI 제어기를 사용하였다.

시뮬레이션 결과 실제와 유사한 신호파형을 보임으로써 모델별 모델링 기법의 유용성을 알 수 있었다.(그러나 현재 시뮬레이션 시간이 길다는 단점을 가지고 있다.)

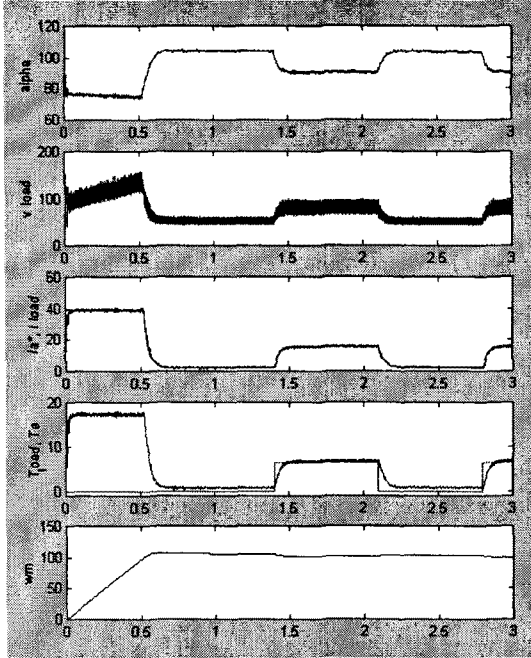
이후로는 시뮬레이션 시간을 단축시킬 수 있는 방법을 연구하고 이와 병행하여 다중화된 위상제어 정류기의 연구에 이 방법을 적용해 보고자 한다.

(참 고 문 헌)

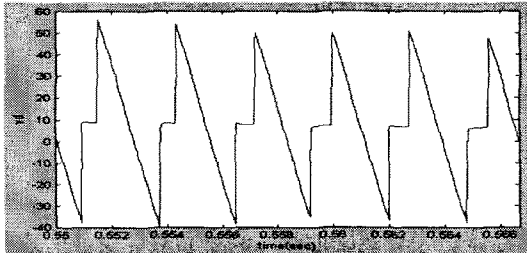
- [1] G. D. Marques, "A Simple and Accurate System Simulation of Three-Phase Diode Rectifiers", IEEE, pp. 416-421, 1998
- [2] C. M. Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice-Hall, 1998
- [3] J. Fernando Silva, "Matlab/Simulink Model for

Thyristor Rectifiers", PEMC, pp. 414-418, 1998

- [4] Werner Leonhard, *Control of Electrical Drives*, 2nd Edition, Springer, 1996
- [5] 정승기, "전력변환회로의 독립형 시뮬레이션 모델 구축에 관한 연구", *전력전자학회지*, 제3권 제4호, pp.353-364, 1998

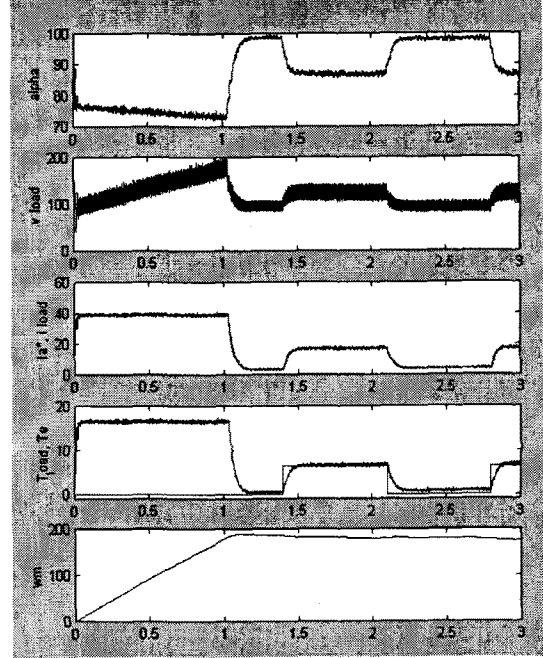


(a)

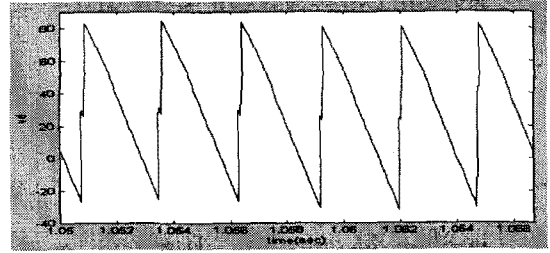


(b)

그림 5 (a) 지연각, 전압, 전류, 부하토크와 전기자 토크, 속도의 결과 파형 (b) 3상 정류기의 출력 전압 파형 (기준속도: 100 (rad/sec), 부하토크: 5.85 (Nm))



(a)



(b)

그림 6 (a) 지연각, 전압, 전류, 부하토크와 전기자 토크, 속도의 결과 파형 (b) 3상 정류기의 출력 전압 파형 (기준속도: 180 (rad/sec), 부하토크: 5.85 (Nm))