3상 AC/DC 컨버터의 직접 전력 제어를 위해 개선된 적분기를 적용한 가상 자속 추정 기법

서승규, 조용수, 이교범
아주대학교

Virtual Flux Estimation Using Modified Integrator of a Three-Phase AC/DC Converter for Direct Power Control

Seung Gyu Seo, Yongsoo Cho, and Kyo Beum Lee
AJOU UNIVERSITY

ABSTRACT

본 논문에서는 개선된 적분기를 이용하여 3상 AC/DC 컨버터의 직접 전력 제어(Direct Power Control)를 위한 가상 자속의 추정 기법을 제안한다. 기존의 가상 자속 추정을 위해 사용하는 일반적인 적분기는 dc drift 문제를 유발한다. 이는 보통 저역 통과 필터를 사용으로 보완이 가능하지만, 이 경우 추정된 자속은 크기와 위상의 오차를 갖는다. 따라서 제안하는 기법은 각속도 오차가 가상 자속의 위상 지연 오차와 비례하는 관계를 분석하고 이를 보상하여 속응성 및 안정성을 향상시킨다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

전력 변환을 위해 전력전자 및 전기기기 분야에서 주로 사용되고 있는 AC/DC 변환기는 다이오드 정류기이다. 하지만 다이오드 정류기는 고조파 성분을 많이 포함하고, 역률제어가 불가능하며 전력흐름이 단방향이라는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 스위칭 소자를 이용한 3상 PWM 컨버터를 사용한다. 3상 PWM 컨버터 제어를 위해서 별도의 하드웨어 구성이 필요하지 않은 센서리스 제어가 대두되고 있으며 센서리스 제어를 위해서는 동기 위상을 추정하기 위한 가상 자속관측기가 필요하다.[1]

자속 추정 방법은 일반적으로 쉽고 간단하다는 장점이 있는 전압 모델을 이용하지만 자속 추정을 위해 적분기만을 이용할 경우 dc drift 문제를 일으킬 수 있다. 이 문제를 보완하기 위해서 저역 통과 필터를 적용한 자속 추정 방법이 있다. 하지만 저역 통과 필터를 적용하여 자속을 추정 할 때 정상상태 오차 문제가 발생한다.[2]

본 논문에서는 개선된 직접 전력 센서리스 제어를 위한 새로운 자속 추정 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 위상 크기와 오차를 보상하여 기존의 방법보다 속응성과 안정성을 높일 수 있다. 제안하는 직접 전력 제어 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

2. 직접 전력 센서리스 제어를 위한 자속 추정기

2.1 기존의 자속 추정기

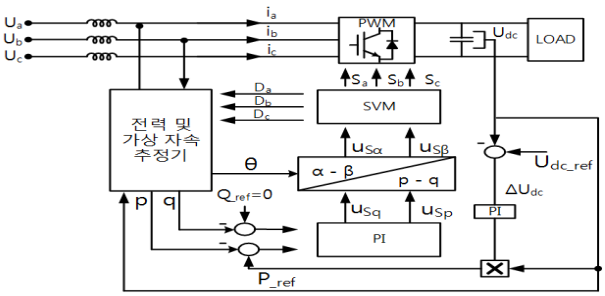

그림 1 전체 제어 블록도
Fig. 1 Overall control block diagram

전압 모델을 이용한 자속 추정 방법은 정지 좌표계의 고정자 전압 방정식을 이용한다. 순수 적분기일 경우 가상 자속 λ_s는 계통전압 $U_L(=v_L-R_Li_L)$을 적분해서 구할 수 있으며 식 (1)로 표현 된다. 이때 주파수 응답 함수는 식 (2)로 표현 된다. v_L은 컨버터 측 전압, i_L은 선전류, R_L은 도선저항이다.

$$\lambda_L = \int (v_L - R_L i_L) dt \tag{1}$$

$$\frac{\lambda_L}{U_L} = \frac{1}{s} \tag{2}$$

하지만 식 (1)과 같이 순수 적분기를 이용해서 자속 추정을 할 경우 초기 옵셋 값에 의한 dc drift 문제가 있기 때문에 일반적으로 저역 통과 필터를 이용하여 dc drift 문제를 해결한다. 이때 주파수 응답 함수는 식 (3)과 같으며 저역 통과 필터 위상 지연과 이득 A는 식 (4), (5)로 주어진다.

$$\frac{\lambda_s}{U_s} = \frac{1}{s+a} \tag{3}$$

$$\phi_{LPF} = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{a}\right) \tag{4}$$

$$A = \left|\frac{\lambda_s}{E_s}\right| = \frac{1}{\sqrt{\omega^2+a^2}} \tag{5}$$

식 (4),(5)와 비교해서 순수 적분기는 90°의 위상 지연과 $1/|\omega|$의 이득을 갖기 때문에 저역 통과 필터를 이용한 적분기는 순수 적분기와 위상과 크기에 오차가 발생한다.

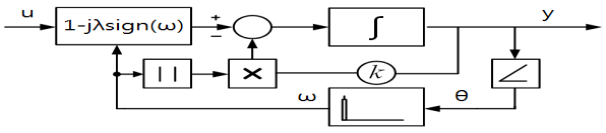

그림 2 개선된 자속 추정기 블록도
Fig. 2 modified flux estimator block diagram

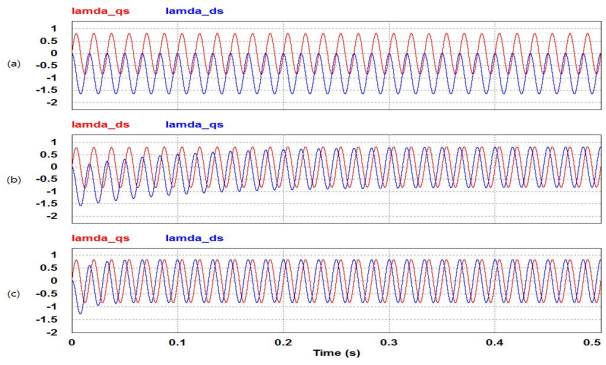

그림 3 자속 추정 방법에 따른 추정된 자속 파형
Fig. 3 flux waveform by the flux estimation method
(a) 적분만을 이용한 자속추정 파형, (b) 저역 통과 필터를 이용한 자속추정 파형, (c) 개선된 적분기를 이용한 자속추정 파형

2.2 제안하는 자속 추정기

식 (6)은 제안하는 자속 추정기의 주파수 응답 함수를 나타낸다.

$$\frac{y(j\omega)}{u(j\omega)} = \frac{1}{j\omega} = \frac{1}{|\omega|} e^{-j(\pi/2)sign(\omega)} \tag{6}$$

이때 차단 주파수를 $a(=k|\omega|)$라 했을 때 제안하는 적분기를 저역 통과 필터 형태 식으로 표현하면 식 (7)로 나타낼 수 있으며 제안하는 자속 추정기 블록도는 그림 2와 같다. k는 0.1, 0.2…0.5 중에서 선택되는 상수이다.

$$\frac{1}{k|\omega|}\frac{dy}{dt} + y = 1 - j\frac{ksign(\omega)}{k|\omega|}u \tag{7}$$

2.3 직접 전력 제어 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터는 계통전압 3상 380 V, 인덕터 10 mH, 주파수 60 Hz, 직류단 전압 700 V, 부하저항 5 Ω으로 설정하였다.

그림 3은 자속 추정 방법에 따른 추정된 자속 파형이다. 그림 3(a)는 순수 적분기를 이용한 방법으로 dc drift 현상이 나타난다. 그림 3(b)는 저역 통과 필터를 이용한 결과로 0.46초 후 dc drift 가 사라진다. 만약 차단 주파수가 커지면 dc drift 가 사라지는 시간은 빨라지지만 위상지연과 크기 오차가 커지게 되어 적절한 차단 주파수 설정이 필요하다. 그림 3(c)는 제안한 알고리즘의 결과로 dc drift가 사라지는 시간이 0.03초로 기존보다 약 94 % 더 빠르고 위상지연과 크기 오차가 없음을 확인하였다.

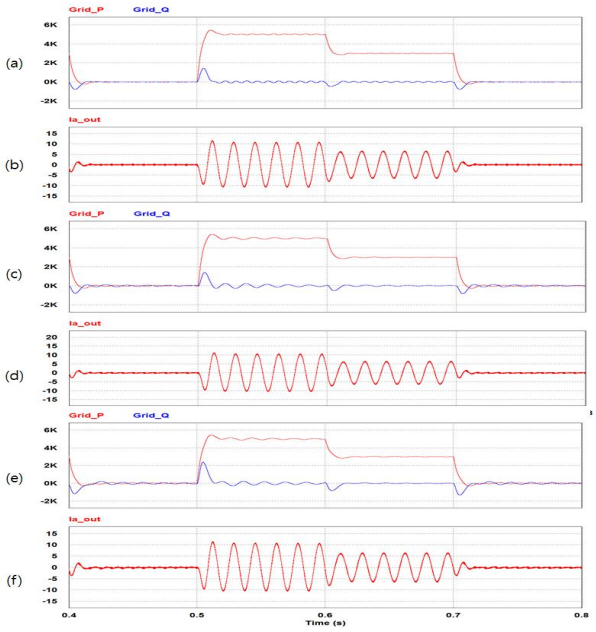

그림 4 자속 추정 방법에 따른 DPC 출력 전력 및 출력 전류
Fig. 4 DPC output power and output current by the flux estimation method
(a),(b) 개선된 적분기를 사용한 DPC 출력 전력 및 출력 전류, (c),(d) 저역 통과 필터를 사용한 DPC 출력 전력 및 출력 전류, (e),(f) 순수 적분기를 사용한 DPC 출력 전력 및 출력 전류

그림 4는 앞서 언급한 3가지 자속 추정방법을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 정상상태 오차를 5 %라고 가정하고 전력이 정상상태에 도달했을 때를 기준으로 비교하였다. 그림 4(a)와 4(c)를 비교하면 지령 전력을 추종하여 정상상태에 도달하는 시간이 5.9초에서 5.28초로 기존 자속 제어 방법을 이용할 때보다 약 11 % 더 빠른 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 속응성과 안정성이 향상된 자속 추정 방법을 제안하였다. 제안한 자속 추정기는 개선된 적분기를 사용하는 방법으로 기존의 추정방식의 문제인 dc offset과 정상상태 오차를 개선하였다. 또한 가상의 자속 추정이 필요한 직접 전력 제어에 제안한 자속 추정기를 적용했을 때 속응성과 안정성이 개선됨을 시뮬레이션을 통해 확인 하였으며 제안하는 방법의 타당성을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] M. Malinowski, M. Jasinski, and M. P. Kazmierkowski, “Simple direct power control of three phase PWM rectifier using space vector modulation (DPC SVM),” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 51, no. 2, pp. 447 454, Apr. 2004.

[2] D. Stojic, M. Milinkovic, S. Veinovic, and I. Klasnic, “Improved Stator Flux Estimator for Speed Sensorless Induction Motor Drives,” IEEE Trans. Power Electron. vol. 30, no. 4, pp. 2363 2371, Apr. 2015.