

이산 주파수 제어를 통한 소프트스타터 기동 효율 향상

장푸름, 양형규, 황대연, 현병조, 김진홍, 최준혁
한국전자기술연구원 전력제어시스템 연구센터

Improving starting efficiency of soft starters through discrete frequency control

Pooreum Jang, Hyoung-Kyu Yang, Dae Yeon Hwang, Byong Ho Hyon,
Jin-Hong Kim, Jun-Hyuk Choi
Power System Research Center, Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

소프트 스타터는 계통 전압을 입력으로 사용하는 어플리케이션에서 기동 및 정지시 과전류를 제한하기 위해 많이 이용된다. 모터 기동이 완료되면 바이패스 커넥터를 이용하여 모터에 계통 전압이 바로 인가되기 때문에 소프트 스타터는 기동 및 정지시에만 사용된다. 본 논문은 이산 주파수 제어 방식을 이용하여 모터 기동 중 효율 향상을 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 램프 방식과 같이 전류가 연속적으로 도통되는 방식이 아닌 불연속 도통 방식을 이용하며 이를 통해 기동 과정중 불필요한 전력 소모를 최소화하여 효율 향상을 초래한다. 제안한 방법은 실험과 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

전동기는 크게 계통 전압을 입력으로 사용하는 direct-on-line(DOL) 방법과 인버터를 사용하는 방법으로 나눌 수 있다. 계통 전압을 입력으로 사용하는 방법은 계통 주파수에 따라서 모터의 회전 주파수가 결정되게되기 때문에 속도 변화가 크지 않은 어플리케이션에서 흔하게 사용된다. 반면에 인버터를 사용하는 방법은 속도의 가변이 필요한 어플리케이션에 많이 사용되며 각 부하 상황에 따라 최적 운전이 가능한 장점을 지닌다. 최근 효율 향상을 위한 인버터를 다양한 분야에서 적용하고 있지만 계통 주파수를 입력으로 사용하는 DOL 방식은 여전히 많이 사용되고 있다. DOL 방식을 이용시에는 전동기에 갑작스럽게 큰 전압이 인가되기 때문에 과전류, 과토크 등이 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해 소프트스타터를 흔히 사용한다.

2. 이산 제어주파수를 이용한 모터 기동 방법

2.1 소프트스타터의 일반적인 구성

그림 1은 소프트스타터의 일반적인 구성을 보여준다. 소프트스타터는 6개의 싸이리스터가 역병렬로 구성되어 있으며 인가되는 점호각에 따라 모터에 인가되는 전압을 서서히 키우게 된다. 점호각은 계통전압의 각도를 기반으로 계산되게 된다. 점호각의 제어방식에 따라 램프 방법, 전류제어 방법, 이산주파수 제어방법으로 크게 나눌 수 있으며 이외에도 모델예측제어 방법도 존재한다.^[1]

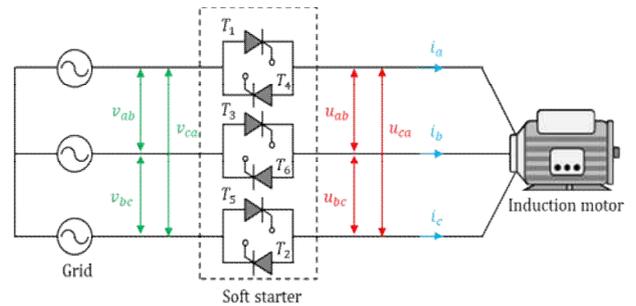


그림 1 소프트스타터의 기본 구성
Fig. 1 Basic configuration of a soft starter

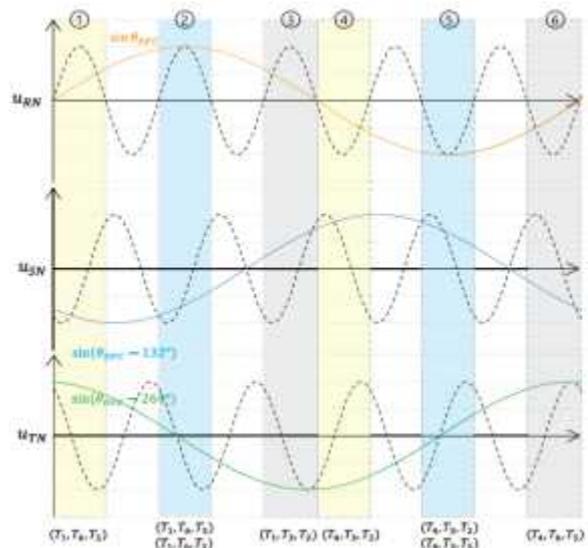


그림 2 이산 제어 주파수 구현 방법
Fig. 2 The implementation method of discrete frequency control

2.2 기동 효율 향상을 위한 이산 주파수 제어 방법

2.2.1 이산 주파수 제어 방법 원리

이산 주파수 제어 방법은 기존의 램프, 전류제어 방법과는 달리 모터에 인가되는 주파수를 서서히 증가시키는 방법이다.^[2] 계통 전압을 입력으로 이용하기 때문에 모터에 인가 가능한 전압의 주파수는 계통 전압의 배수로 한정된다. 이는 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$\omega_{grid} = \gamma\omega_{DFC}$$

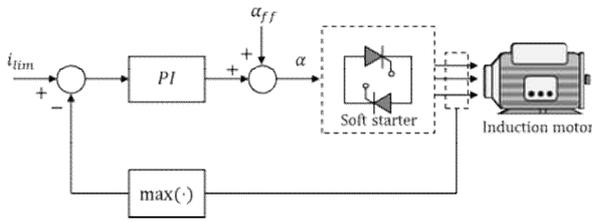


그림 3 기동 전류 제한을 위한 점화각 제어 방법
 Fig. 3 Firing angle control method for limiting starting current
 표 2 유도모터 파라미터

Table 2 Parameter of induction motor

항목	값	단위
정격 파워	1.1	kw
고정자 저항, r_s	9.52	Ω
고정자 인덕턴스, L_s	0.533	mH
회전자 저항, r_r	8.55	Ω
회전자 인덕턴스, L_r	0.533	mH
자화 인덕턴스, L_m	0.498	mH

여기서 ω_{grid} 는 계통 전압의 각 주파수를 의미하며 ω_{DFC} 는 분주 되어 모터의 인가되는 전압의 평균 주파수를 의미하며 γ 는 임의의 정수를 의미한다. 분주된 주파수와 계통 전압은 전압이 0이 되는 시점이 겹치기 때문에 아래와 같은 수식이 성립한다.

$$\omega_{DFC} \cdot t - \frac{2\pi}{3} = 0, \quad \omega_{grid} \cdot t - \frac{2\pi}{3} = n\pi$$

위 식을 기반으로 볼 때 여러 종류의 γ 와 n 에 따라서 여러 가지 조합이 가능하며 각 조합에 따라 UVW 상의 위상과 방향이 차이가 나게 된다. 본 논문에서 사용한 γ 와 n 은 표 1에서 보여주며 이에 따른 각 상의 위상차를 함께 보여준다.

2.2.2 전류 제한을 위한 이산 주파수 제어 방법

그림 2는 이산 주파수 제어 방법 구현을 위한 점화각 인가 방법을 보여준다. 분주되는 주파수 제어 방법을 위해서 실제 계통 전압과 분주 되는 주파수 전압을 비교하여 각 상들의 전압의 부호가 같을 때에 게이트 신호를 인가한다. 이 방법은 손쉽게 이산 주파수 제어 방법을 가능케 하지만 부호 비교만을 통하여 게이트 신호 인가시 모터에 흐르는 전류가 과도하게 커질수 있기 때문에 전류 제한을 위한 추가적인 제어 방법이 필요하다.

그림 3은 앞서 소개한 이산 주파수 구현 방식에 더불어 전류 제한을 위한 방법을 보여준다. 실제 속도 지령에 맞춰 점화각의 전향 보상항을 계산하게 되며 γ 가 같은 구간에서는 전류 제한을 위해 추가적인 PI 제어가 사용된다. 이러한 방법은 기존의 전류 제한 방법에서 사용되는 PI 제어기와 이산 제어주파수 방법을 함께 쓴 것과 같은 효과를 지니며 효과적으로 전류를 제한하며 모터를 기동할 수 있다.

3. 실험 결과

표 2는 실험에 사용된 모터의 파라미터를 보여주며 그림 4는 실험 환경을 보여준다. 입력전압으로 380VLL이 사용되었으

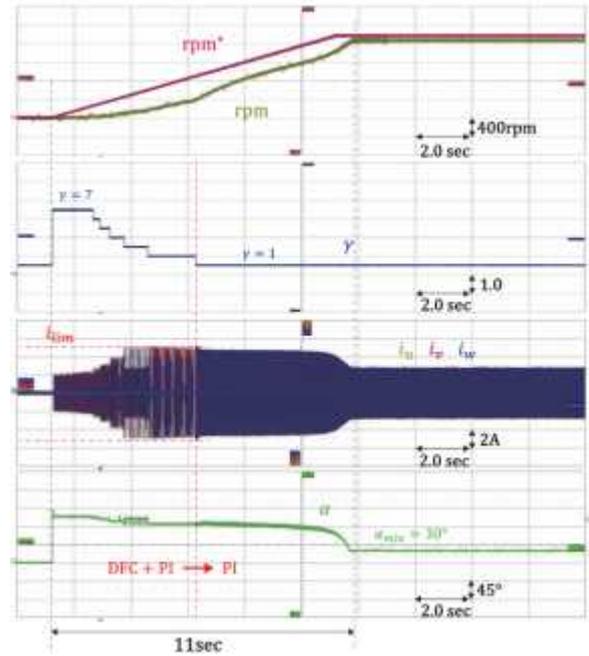


그림 4 제안한 이산 주파수 제어방법을 통한 실험 결과
 Fig. 4 Experimental results using the proposed discrete frequency control method

며 임펠러가 장착된 유도모터를 이용하였다. 그림 5는 실험 결과를 보여준다. 속도 지령이 상승함에 따라 분주비를 의미하는 γ 는 점차 작아지게 된다. 이산 주파수 기동 방식에 따라 기동 과정 중에 전류 파형이 불연속이 되며 이로 인해 기동 중에 효율이 개선되게 된다. 추가적인 PI 제어기로 인해 전류의 피크치가 i_{lim} 으로 제한되어 기동하기 때문에 기동 과정에서 생길 수 있는 과전류, 과토크로부터 모터를 안전하게 보호 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전류 제한을 위한 이산 제어주파수 방법이 제안되었습니다. 이 방법은 전동기 기동 과정에서의 불연속적인 전류 도통을 통해 기동 과정에서의 효율을 개선할 수 있으며 추가적인 PI 제어를 통해 과전류, 과토크로부터 전동기를 안전하게 보호할 수 있습니다. 주파수 분주비가 1이 될 때는 자연스럽게 PI 제어기만을 이용하기 때문에 기존의 PI 제어기를 활용한 전류 제한 방법에서 큰 제어 구조 변화 없이 사용할 수 있는 장점을 지닙니다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2022202090003B)

참고 문헌

- [1] ZENGINOBUZ, Gurkan, et al. "Soft starting of large induction motors at constant current with minimized starting torque pulsations," in IEEE Trans. Ind. Appl., 2001, 37.5: 1334-1347
- [2] JANG, Pooreum, et al. The Seamless Transition from Discrete Frequency Control to Phase control Method Using Soft Starter. IEEE Access, 2024.