

불연속 캐리어 변조 방식을 이용한 매트릭스 컨버터의 전압 변조 및 3상 유도 전동기 V/F 제어의 적용

부한영, 윤춘기, 조영훈
건국대학교

Voltage Modulation of Matrix Converter Using Discontinuous Carrier Modulation and Application of Three-Phase Induction Motor V/F Control

Hanyoung Bu , Chun gi Yoon, Younghoon Cho
Konkuk Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 불연속 캐리어 변조 방법을 이용한 매트릭스 컨버터의 전압 변조 방법을 사용하였다. 제안한 방법을 통해 출력 전압을 합성하고, 역률 1의 정현파를 갖는 입력 전류를 얻을 수 있다. 그리고 고차 고조파로 인한 문제를 방지하기 위해 입력 필터를 설계한다. 마지막으로, 제안한 방법을 유도전동기의 V/F 제어에 적용하고, PSIM을 이용한 시뮬레이션 결과를 통해 그 타당성을 검토하였다.

1. 서 론

매트릭스 컨버터는 DC link 커패시터가 필요 없고, 모든 부하에 대해 입력 전류의 역률을 1로 유지할 수 있다는 등의 많은 장점 때문에 고신뢰성, 소형화가 요구되는 분야에 많은 관심을 받고 있다. 본 논문에서는 매트릭스 컨버터를 제어하는 여러 방법들 중 직관적으로 해석이 가능한 불연속 캐리어를 이용한 방법을 제안한다. 이 방식은 캐리어를 이용하여 각 상의 스위칭 상태를 바로 구할 수 있고, 스위칭 상태에서 직접 게이팅 신호를 얻을 수 있다.^[1]

2. 불연속 캐리어 변조 방법

2.1 출력 전압의 합성

매트릭스 컨버터에서는 총 3개의 입력 선간 전압 중, 전압 이용률을 최대로 높이기 위해 3개의 전압 중 크기가 큰 2개의 입력 선간 전압을 가상의 DC link 전압으로 간주하여 매트릭스 컨버터의 입력으로 사용하여 출력 전압 합성을 수행한다.

스위칭 주기(T_s)를 T_1 , T_2 의 2구간으로 나누고, T_1 구간에서는 입력 선간 전압이 가장 큰 MAX와 MIN 사이의 전압을 사용한다. T_2 구간에서는 그 다음으로 입력 선간 전압이 큰 MAX와 MID 사이의 전압 또는 MID와 MIN 사이의 전압을 사용한다.

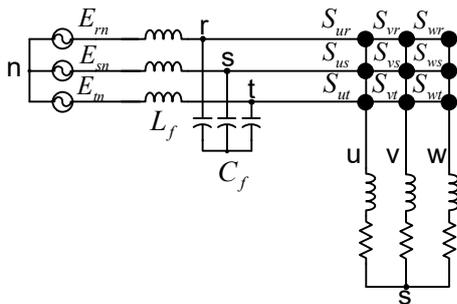


그림 1 매트릭스 컨버터 전체 회로도

2.2 입력 전류의 합성

입력 전류의 왜곡을 제거하기 위해 T1, T2의 시간을 조절하여 출력 전압 합성에 영향을 미치지 않고 입력 전류를 합성할 수 있다. 입력 전압 각(θ_i)에 따라 T1, T2의 시간이 결정되며, 식 (1), (2)와 같이 표현된다.

$$T_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(\theta_i + \frac{2\pi}{3}) \cos(\theta_i) T_s \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin(\theta_i) \cos(\theta_i - \frac{\pi}{3}) T_s \quad (2)$$

2.2.1 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 파라미터

전압 전달율(q)	0.5
입력 전압(상 rms)	220[V]
출력 전압(상 rms)	110[V]
입력 주파수	60[Hz]
출력 주파수	30[Hz]
RL 부하	R=20[Ω], L=20[mH]
스위칭 주파수	10[kHz]

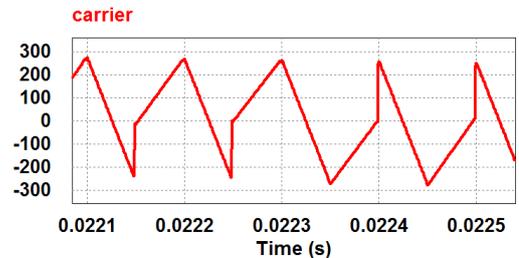


그림 2 불연속 캐리어 파형

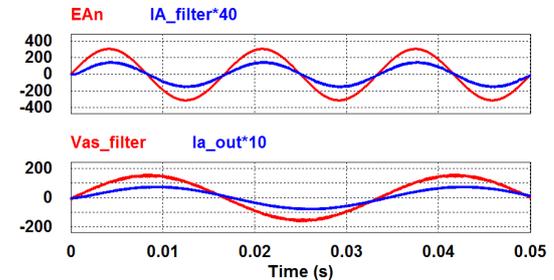


그림 3 입, 출력 전압, 전류 파형

2.2.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 실행한 결과, 출력이 정현파로 합성되고, 입력 전류 또한 역률 1에 가까운 정현파로 변조 목적과 알맞게 합성된 것을 확인할 수 있다.

2.3. 입력 필터 설계

매트릭스 컨버터는 스위칭에 의한 고차 고조파가 필연적으로 나타나게 되어 입력전압에 나타나는 과전류로부터 컨버터와 부하를 보호하기 위해서는 입력 필터가 회로 내에 반드시 포함되어야 한다.

LC필터를 기준으로 설계를 하며 LC필터의 차단 주파수는 식 (3)와 같이 나타내어지고, 2kHz 근방으로 설정하였다. 입력 필터의 회로도도 그림 4의 형태로 구성할 수 있다.

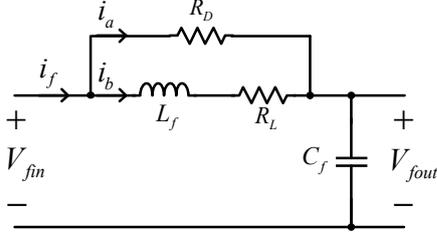


그림 4 입력 필터의 회로도

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}} \quad (3)$$

입력 필터의 회로도로부터 식 (4)~(6)을 통해 전달함수를 구하여 필터의 특성을 알아볼 수 있다.

$$T(s) = \frac{V_{fout}(s)}{V_{fin}(s)} \quad (4)$$

$$V_{fout} = V_c = \frac{1}{C} \int (i_a + i_b) dt \quad (5)$$

$$V_{fin} = L \frac{di_b}{dt} + R_L i_b + \frac{1}{C} \int i_f dt \quad (i_f = i_a + i_b) \quad (6)$$

식 (5), (6)을 라플라스 변환하여 전달함수로 표현하면, 식 (7)과 같이 표현된다.^[2]

$$T(s) = \frac{V_{fout}(s)}{V_{fin}(s)} = \frac{\frac{L_f s + R_L + R_D}{R_D L_f C_f}}{s^2 + \left(\frac{R_L}{L_f} + \frac{1}{R_D C_f}\right)s + \left(\frac{R_L}{L_f C_f R_D} + \frac{1}{L_f C_f}\right)} \quad (7)$$

그림 5와 같이 보드선도로 필터의 전달함수를 나타낼 수 있다. 댄핑 저항 R_D 값이 작아짐에 따라 공진 주파수(차단 주파수)에서의 이득값을 줄일 수 있으나, 너무 작은 값을 선택하게 되면 차단 주파수 이상에서 감쇠속도가 늦어지게 되어 필터의 효과를 기대하기 어렵다. 따라서, 적절한 댄핑 저항 R_D 을 선택할 필요가 있다.

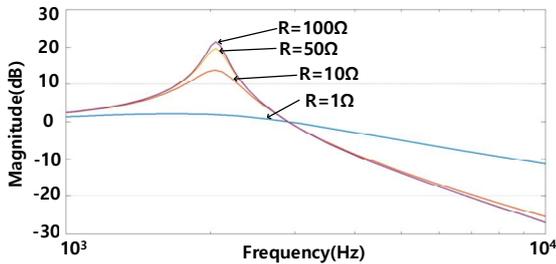


그림 5 입력 필터 전달함수의 보드 선도

2.4. 유도 전동기 V/F 제어에의 적용

유도 전동기의 토크는 $R_r \gg \omega_{sl} L_{lr}$ 이 성립하는 대부분의 운전영역에서 식 (8)과 같이 근사될 수 있다.

$$T_c \approx 3 \frac{P}{2} |\lambda_m|^2 \frac{\omega_{sl}}{R_r} \quad (8)$$

토크가 최대가 되는 슬립 각속도 $\omega_{sl, pk}$ 를 식 (9)와 같이 정의하면, 최대 토크 식이 식 (10)으로 표현된다.

$$\omega_{sl, pk} = \pm \frac{R_r}{L_{lr}} \quad (9)$$

$$T_{c, pk} = \pm 3 \frac{P}{2} |\lambda_m|^2 \frac{1}{2L_{lr}} \quad (10)$$

공극 자속이 일정하다면 최대 토크는 오직 회전자 누설 인덕턴스 값에 의해서만 결정된다.

$$V_s = j\omega_c \lambda_m + (R_s + jX_{ls}) I_s \quad (11)$$

$$V_s = |\lambda_m| \omega_c \quad (12)$$

$$\frac{V_s}{\omega_c} = |\lambda_m| = const \quad (13)$$

고정자 권선의 상전압이 식 (11)과 같이 표현되고 ω_c 이 충분히 커서 식 (12)이 성립한다면, 결과적으로 식 (13)과 같이 고정자 전압과 고정자 주파수 비가 일정하도록 운전하면, 공극 자속을 일정하게 유지할 수 있다.

2.4.1 시뮬레이션

표 2 입력 필터 파라미터

필터 커패시터	60[uF]
필터 인덕턴스	0.1[mH]
필터 인덕턴스 저항	0.1[Ω]
댄핑 저항	10[Ω]
차단 주파수	2.054[kHz]

2.4.2 시뮬레이션 결과

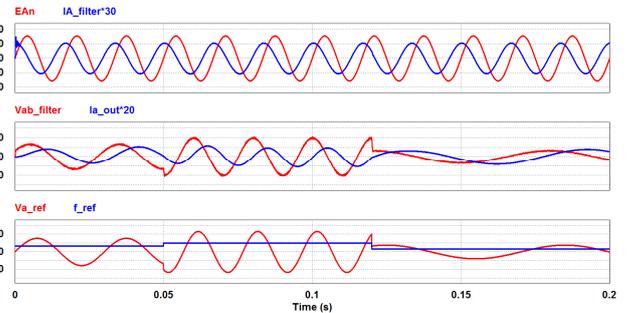


그림 6 유도 전동기 V/F 제어를 적용한 입, 출력 파형

유도 전동기 V/F 제어 알고리즘과 앞에서 설계한 입력 필터를 매트릭스 컨버터의 입력부에 추가한 후 시뮬레이션을 진행하였다. 입력 필터의 영향으로 인해 약 90°의 위상차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 V/F 비율(약 2.33)을 일정하게 유지하면서 0.05s와 0.12s에서 변화하는 주파수에 따라 입력 전류 및 출력 전압의 합성이 정현파로 이루어지게 된다.

3. 결론

본 논문에서는 직관적으로 해석이 가능한 불연속 캐리어 변조 방법을 제시함으로써, 출력 전압과 입력 전류 파형의 정현파로의 합성이 가능함을 보였다. 또한 입력 필터를 설계하고 유도 전동기 V/F 제어 적용하여 변조 목적과 일치함을 확인하였다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2017R1C1B2009425)

참고 문헌

- [1] Young Doo Yoon, Seung Ki Sul, "Carrier Based Modulation Technique for Matrix Converter", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 21, No. 6, pp. 1691-1702, 2006, November.
- [2] Saul Lopez Arevalo, "Matrix Converter for Frequency Changing Power Supply Applications", Ph.D dissertation, University of Nottingham, pp. 45-48, 2008, January
- [3] 설승기, "전기기기 제어론", pp. 96-98, 2012