3상 매트릭스 컨버터의 고효율 변조방법 개발 및 실험

임현주, 차한주
충남대학교, 전기공학과

Design and Implementation of high efficiency PWM modulation method for Three-phase Matrix Converter

Lim HyunJoo, Cha Hanju
Chungnam National University, Electical Engineerying

ABSTRACT

매트릭스 컨버터는 출력 한 상에 대하여, 입력 3상이 교대로 연결되는 형태이다. 현재 사용하고 있는 개선된 벤츄리니 방법은 시비율과 캐리어를 사용하여 기존의 벤츄리니 구현 방법을 단순화 시켰지만 효율 측면에서만 본다면 불필요한 스위칭을 하고 있는 비효율적인 스위칭을 하고 있다. 이 논문에서는 기존 스위칭 패턴을 개선하여 스위칭 손실을 줄이고 효율을 개선하는 스위칭에 대해 제안해 본다.

기존의 비대칭 스위칭 패턴을 대칭된 스위칭 패턴으로 변화하여 특정한 섹터에서 추가적으로 발생되는 손실을 줄이고 해석적 손실의 정확도를 높일 수 있다.

제안된 방법에 대한 타당성을 입증하기 위해 실험을 수행하였다.

1. 서 론

그림 1은 현재 사용하고 있는 매트릭스 컨버터의 회로도를 간소화하여 도식화한 것이다. 양 방향성 스위치가 출력 상을 기준으로 각각 3개씩 구성되어 있으며 각각의 스위치는 다이오드를 내장하고 있다. 전압 변조 방법으로는 변조된 벤츄리니 방법을 사용하였다. [1]

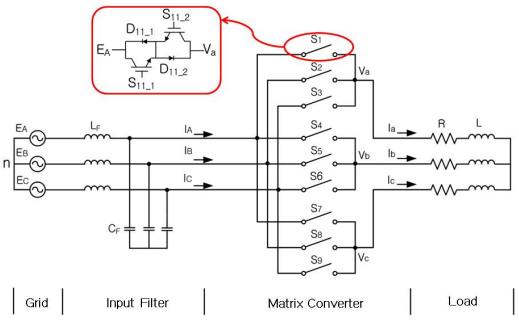
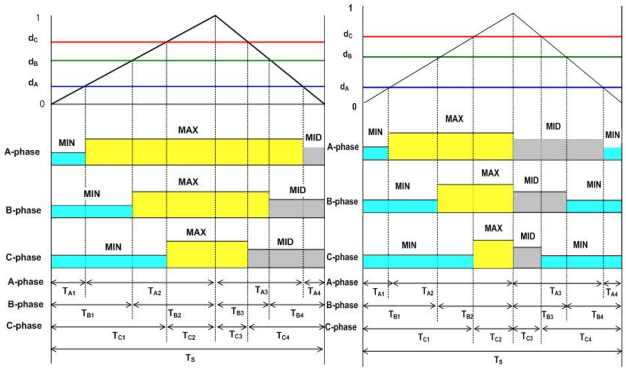


그림 1 매트릭스 컨버터 전력회로도

2. 손실 저감을 위한 스위칭 방법 제안

2.1 변조된 벤츄리니 방법

변조된 벤츄리니 방법은 듀티비 d_A, d_B, d_C와 캐리어 n을 계산하여 이 둘의 교차점에서 스위칭 신호가 발생한다. 때문에, 스위칭 시간을 직접 계산할 수 있는 장점이 있다.[2] 입력 전압의 크기에 따라 MAX, MID, MIN으로 분류한 후, 입력 전압의 크기가 (MAX-MID)>(MID-MIN)일 경우는 스위칭 패턴1이고 이외의 경우에는 스위칭 패턴 II로 분류하여 그림 2과 같은 스위칭 패턴을 갖게 된다.



(a) (b)

그림 2 (a) 스위칭패턴 I (b) 스위칭 패턴 II

2.2 변조된 벤츄리니 방법 손실

매트릭스 컨버터에서의 손실 해석은 그림 2와 같은 PWM 스위칭과 전류의 방향에 따라 손실이 발생하는 스위치와 스위치에 인가된 전압과 전류의 양에 의해 결정된다.[3] 그렇게 때문에 순시적으로 스위치에 인가되는 전류와 전압의 양을 파악하여 스위칭 주기를 기준으로 평균한 값으로 손실 해석에 손실을 모델링하고 해석하였다. 변조된 벤츄리니 방법을 사용하였을 때 3상의 매트릭스에서 발생하는 총 손실은 표 1과 같다.

표 1. 매트릭스 컨버터의 총 손실

Conduction	Transistor	$P_{COND_T}=3\cdot(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}I_oV_{CE0}+R_KI_o^2)$
	Diode	$P_{COND_D}=3\cdot(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}I_oV_{D0}+R_{DK}I_o^2)$
Switching ON/OFF		$P_{ON/OFF}=3\cdot(\xi_{tON/OFF}\frac{9+6\sqrt{3}}{\pi^2}E_i\cdot I_o\cdot f_c)$
Reverse Recovery		$P_{RR}=3\cdot(\xi_{rr}\frac{(9+6\sqrt{3})}{\pi^2}E_i\cdot I_o\cdot f_c)$

2.3 손실 저감을 위한 스위칭 제안

현재의 스위칭 패턴에서 스위칭 패턴의 순서만을 변경하여

도 입/출력의 전력량에는 변함이 없다. 따라서, 그림 2의 비대칭된 스위칭 패턴을 대칭으로 바꾸어 스위칭 주기가 변화함에 따라 발생하는 불필요한 스위칭을 줄일 수 있다. $2T_S$기간을 T_P(Period of Switching)라 정의하여 T_P동안의 스위칭 패턴에 대해 정의하였다. 제안된 스위칭 패턴은 그림 3과 그림 4와 같다. 그림 3는 제안된 그림 2 (a)의 패턴을 변화시킨 것으로 MIN-MAX-MID에서 MID-MAX-MIN-MAX-MID로 변화하여 주었다. 때문에 각각에 인가되는 스위칭 시간 또안 식(1)과 같이 변화되었다. 식 (1)의 시간은 식(2)와 식(5)에 의해 계산할 수 있다. V^*_a는 샘플링 주기 동안의 평균 출력 전압 값을 나타낸다.

$$\begin{aligned} T_{A4} &= d_{A1} \cdot (1-n) \cdot T_S \\ T_{A3} &= (1-d_{A1}) \cdot (1-n) \cdot T_S \\ T_{A2} &= (1-d_{A1}) \cdot n \cdot T_S \\ T_{A1} &= d_{A1} \cdot n \cdot T_S \end{aligned} \tag{1}$$

$$d_A = \frac{MAX - v_a^*}{(MAX-MID)+n(MID-MIN)} \tag{2}$$

그림 4는 제안된 그림 2 (b)의 패턴을 변화시킨 것으로 MIN-MAX-MID-MIN에서 MID-MIN-MAX-MIN-MID로 변화하여 주었다. 때문에 각각에 인가되는 스위칭 시간 또안 식(3)과 같이 변화되었다. 식 (3)의 시간은 식(4)와 식(5)에 의해 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{A3} &= (1-d_{A2}) \cdot (1-n) \cdot T_S \\ T_{A4} &= d_{A2} \cdot (1-n) \cdot T_S \\ T_{A1} &= d_{A2} \cdot n \cdot T_S \\ T_{A2} &= (1-d_{A2}) \cdot n \cdot T_S \end{aligned} \tag{3}$$

$$d_A = \frac{n(MAX-MID)+(MID-v_a^*)}{n(MAX-MID)+(MID-MIN)} \tag{4}$$

$$n = \begin{cases} -\dfrac{I_{\min}}{I_{\max}} = -\dfrac{MIN}{MAX} & \text{스위칭 패턴 } I \\ -\dfrac{I_{\max}}{I_{\min}} = -\dfrac{MAX}{MIN} & \text{스위칭 패턴 } II \end{cases} \tag{5}$$

2.4 손실 비교

제안한 스위칭에서의 스위칭 패턴이 변화하였다고 하여 스위칭의 ON/OFF시간이 달라진 것이 아니라 단지 스위칭 패턴의 변화만 있기 때문에 스위칭이 ON상태와 OFF상태인 시간에는 변함이 없으므로 전도 손실은 차이가 없다. 스위칭 손실에서는 다르다. 스위칭 패턴의 변화하면서 스위칭 횟수가 줄어들었기 때문에 ON/OFF 스위칭의 횟수가 줄어든 만큼의 손실 변화가 예상된다. 이를 앞 절의 손실 해석과 같은 방법으로 3상의 매트릭스 컨버터에서 발생하는 손실을 아래 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 제안된 벤츄리니 방법을 사용 시, 매트릭스 컨버터의 총 손실

Conduction	Transistor	$P_{CONT} = 3 \cdot (\frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_o V_{CE0} + R_K I_o^2)$
	Diode	$P_{COND} = 3 \cdot (\frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_o V_{D0} + R_{DK} I_o^2)$
Switching ON/OFF		$P_{ON/OFF_T} = 3 \cdot (\xi_{tON/OFF} \frac{18}{\pi^2} E_i \cdot I_o \cdot f_c)$
Reverse Recovery		$P_{RR_D} = 3 \cdot (\xi_{rr_D} \frac{18}{\pi^2} E_i \cdot I_o \cdot f_c)$

이를 표 1과 수치적으로 비교해 보면 제안된 벤츄리니 방법은 약 7.18%의 스위칭 손실 저감 효과가 있는 것을 알 수 있다.

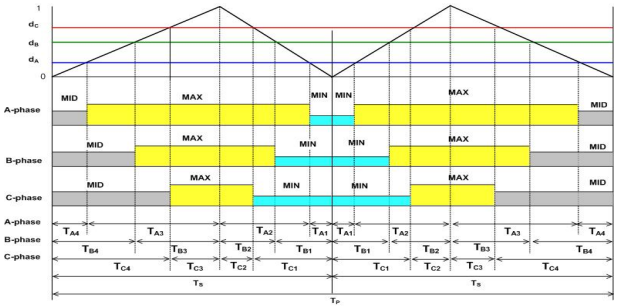


그림 3 제안된 스위칭 패턴 I

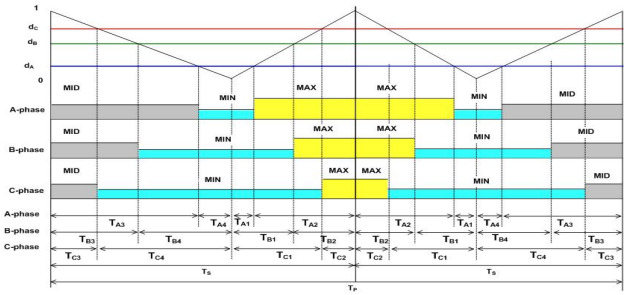


그림 4 제안된 스위칭 패턴 II

3. 결 론

본 논문에서 변조된 벤츄리니 PWM 방법에서 손실을 줄이기 위한 스위칭 패턴을 제안하였다. 제안된 PWM 스위칭은 대칭되는 스위칭 패턴으로 특정한 섹터나 스위칭 주기가 변함에 따라서도 추가적인 스위칭 손실을 발생시키지 않는다. 따라서, 해석적으로 분석된 손실을 비교해 본 결과 7.18%의 손실 저감 효과가 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] H. Cha, P. N. Enjeti, "An approach to reduce common mode voltage in matrix converter" IEEE transactions on industry applications, VOL. 39, NO. 4, July/AUGUS T 2003, 1151~1159

[2] Yulong Li, Nam-Sup Choi, "Carrier Based Pulse Width Modulation for Matrix converters", The Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp1709~1715, Feb, 2009

[3] 임현주, 차한주, "3상 매트릭스 컨버터의 해석적 손실 모델 유도 및 비교", 2010 하계학술대회 논문집