

# 매트릭스컨버터의 최적제어기법 고찰

조춘호, 모동영, 이상철, 최창영, 이진식, 김태웅, 박귀근\*  
경상대학교, \*LG전자

## Optimal Control Scheme for Matrix Converter

Choon-Ho Cho, Dong-Yeong Mo, Sang-Chul Lee,  
Chang-Young Choi, Gun-Sik Lee, Tae-Woong Kim, Gwi-Geun Park\*  
Gyeongsang National University, \*LG Electronics,

### ABSTRACT

Matrix converter is direct power conversion system. Matrix converter has many merits that possible bidirectional power flow, input power factor own control and system without DC-link. But matrix converter has some demerits that need many switching devices and switching loss. This paper suggest optimal matrix converter control scheme for improvement for switching loss part. Proposed control scheme verified that 10% improvement in efficiency, input current's harmonic loss and output voltage's EMI improvement.

### 1. 서론

최근 3상 전력변환시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 가운데 간접형 AC/AC 전력변환시스템이 지니고 있는 직류링크회로를 제거하여 에너지 저장소자를 최소화시키는 매트릭스컨버터에 대해 관심을 가지고 진행되고 있다. 하지만 매트릭스컨버터는 많은 수의 스위칭소자를 사용하기 때문에 제어기가 복잡하고, 스위칭 손실이 많으며, 다수의 PWM 신호를 내기 위해 DSP와 FPGA를 조합하여 사용해야 하는 문제점을 지니고 있다. 매트릭스컨버터를 제어하기 위해 입력전류공간벡터와 출력전압공간벡터를 합성한 SVPWM 제어기법을 사용하며, 일반적인 유효벡터인가시간에 따라 매트릭스컨버터를 구성하는 양방향 스위칭소자 중 4개가 동시에 절환되는 상태가 발생하게 된다. 이를 개선하고자 하는 연구가 진행되어 왔지만 이에 대한 결과분석이 제시 되지 않았다.<sup>[1]</sup>

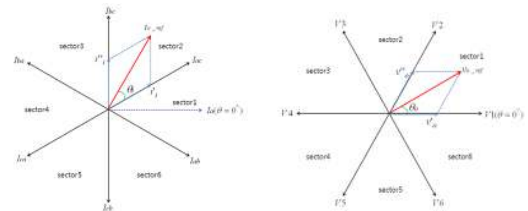
본 논문에서는 동시에 4개 양방향스위칭소자가 절환되는 상태를 벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 최적상태로 변경하여 동시에 4개 스위칭소자가 절환되는 상태를 2개 스위칭소자가 절환되도록 제어함으로써 기존의 스위칭방식보다 개선된 SVPWM 스위칭방식을 제안한다. 또한 제안된 스위칭절환 기법에 대한 유효성을 PSIM 시뮬레이터를 통해 검증하고 기존 방식보다 개선된 성능을 지님을 보여준다.

### 2. 매트릭스컨버터의 제어기법

#### 2.1 기존의 SVPWM 제어기법

매트릭스컨버터를 제어할 경우, 반드시 입력측 관점에서 단

락회로를 방지하기 위해 한 개의 그룹에서 두 개 이상의 양방향 스위칭소자가 동시에 턴 온 되지 않으며, 출력측 관점에서 개방회로를 방지하기 위해 한 개의 그룹에서 세 개의 양방향 스위칭소자가 동시에 턴 오프 되지 않도록 설계하여야 한다. 상기 조건을 모두 만족시키는 상태에서 입력전류공간벡터와 출력전압공간벡터를 이용하여 필요한 36개의 섹터를 계산하고, 각 섹터마다 계산된 유효벡터인가시간을 통하여, SVPWM 신호를 인가하여 매트릭스컨버터를 구동하게 된다.



(a) 입력전류공간벡터 (b) 출력전압공간벡터  
Fig. 1. 2단계 직접형 전력변환시스템의 공간벡터표현

입력전류와 출력전압에 대한 공간벡터를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같이 표현되며, 제어주기  $T_s$ 에 대한 유효벡터 인가시간은 식 (2)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{i}_i &= \frac{2}{3}(i_{ab} + i_{bc}e^{j2\pi/3} + i_{ca}e^{j4\pi/3}) = I_i e^{j\theta_i} \\ \vec{v}_o &= \frac{2}{3}(v_A + v_B e^{j2\pi/3} + v_C e^{j4\pi/3}) = V_o e^{j\theta_o} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \int_0^{T_s} V^* dt &= \int_0^{T_1} V_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} V_0 dt \\ \int_0^{T_s} I^* dt &= \int_0^{T_1} I_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} I_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} I_0 dt \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)로 입력전류와 출력전압의 벡터를 합성하여, 수식(3)과 같은 합성벡터를 구하며, 제어주기에서 유효벡터 인가시간의 합을 감산함으로써 영벡터 인가시간을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_0 &= T_s - (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \\ T_1 &= MI \cdot \sin[60^\circ - \theta_o + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[60^\circ - \theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_2 &= MI \cdot \sin[\theta_o + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[60^\circ - \theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_3 &= MI \cdot \sin[\theta_o + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \\ T_4 &= MI \cdot \sin[60^\circ - \theta_o + (k-1) \times 60^\circ] \cdot \sin[\theta_i - (i-1) \times 60^\circ] \end{aligned} \quad (3)$$

#### 2.1 제안된 SVPWM 제어기법

본 논문에서는 섹터 판별의 기준이 입력전류와 출력전압에

상관없이 최소스위칭절환을 하기 위하여 입력섹터와 출력섹터로부터 판별된 4개 그룹으로 유효벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 변경하는 제어기법을 제안하였으며, 기존방식과 비교하여 스위칭절환의 횟수를 조사하였으며 표1 및 2에 보여준다.

표 1. 기존방식에 의한 매트릭스컨버터의 스위칭데이터

	T1	T2	T3	T4	T0	T4	T3	T2	T1	SO
S1	abb	aab	acc	aac	aaa	aac	acc	aab	abb	20
S2	acc	aac	bcc	bbc	bbb	bbc	bcc	aac	acc	20
S7	aab	bab	aac	cac	ccc	cac	aac	bab	aab	20
S8	aac	cac	bbc	cbc	ccc	cbc	bbc	cac	aac	20

표 2. 제안된 방식에 의한 매트릭스컨버터의 스위칭데이터

	T1	T2	T3	T4	T0	T4	T3	T2	T1	SO
S1	acc	aac	aab	abb	bbb	abb	aab	aac	acc	16
S2	bbc	bcc	acc	aac	aaa	aac	acc	bcc	bbc	16
S7	cac	aac	aab	abb	bbb	abb	aab	aac	cac	16
S8	bbc	cbc	cac	aac	aaa	aac	cac	cbc	bbc	16

note. S => Sector, SO => Number of Switching Operation

입·출력 섹터정보가 홀수인지 짝수인지를 판별하여 각각의 제어그룹을 판별하게 된다. 즉, 그룹1의 경우는 홀수인 입력섹터와 홀수인 출력섹터, 그룹2의 경우는 짝수인 입력섹터와 홀수인 출력섹터, 그룹3의 경우는 홀수인 입력섹터와 짝수인 출력섹터, 그룹4의 경우는 짝수인 입력섹터와 짝수인 출력섹터에 의해 판별된다. 상기 그룹에 따른 벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 변경하여 스위칭절환을 최소로 할 수 있는 최적제어기법을 제안하였다. 제안된 SVPWM 스위칭기법으로 매트릭스컨버터를 구동하였을 경우에 이론적으로는 36섹터를 한주기로 동작 시 약 11%의 스위칭 효율이 개선된다.

### 3. 시뮬레이션 해석

#### 3.1 시스템 구성

시뮬레이션 해석하기 위한 매트릭스컨버터의 전체 회로구성은 그림 2에 보여주며, 3상전원, 입력전압용 검출센서, 출력전류용 검출센서, 9개의 양방향스위치소자, 보호회로, 마이크로프로세서와 FPGA, 그리고 RL부하로 이루어진다. 센서를 통해 입력전압과 출력전류에 대한 정보를 검출하며, 마이크로프로세서와 FPGA와의 통신을 통해 다수의 스위칭소자에 PWM 신호를 인가해준다. 다수의 스위칭소자를 사용하기 때문에 제어에 문제점이 발생하였을 때에는 보호회로로 설계된 클램프 회로로 에너지를 흐르게 하여 회로를 보호하게 된다. 스위칭주파수는 10kHz로 하였으며, 시뮬레이션 회로도에는 그림 2에 나타내었다.

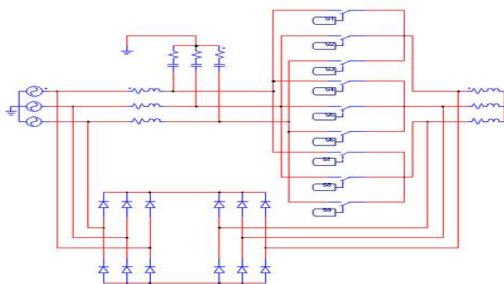


Fig. 2 매트릭스컨버터의 회로도

#### 3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

매트릭스컨버터의 구동에 있어서 벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 입력 및 출력섹터의 정보에 따라 변경하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 3상 정현파출력전류를 얻을 수 있음을 확인하였으며, 36섹터의 무작위 변경에 대해 기존 공간벡터 PWM기법과 동일한 조건하에 유효벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스만 변경되는 것을 확인하였으며, 그림 3에 보여준다.

매트릭스컨버터의 구동에 최적 스위칭기법을 적용한 결과, 개선된 성능은 동일한 시스템에 대해서 유효벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 변경하지 않은 기존방식과의 FFT 비교 분석한 파형을 그림 4와 5에 보여준다. 본 그림의 좌측은 기존기법을 적용하였을 때이며, 우측은 제안한 기법을 적용하였을 때에 대한 FFT 분석결과 파형을 보여준다. 그림 4에 제시된 입력전류에 대한 고조파 분석결과에 의하면 10kHz에서 1%, 30kHz에서 40%의 고조파를 저감시키고, 그림 5에 제시된 출력전압의 고조파 분석결과에 의하면 EMI가 확실히 저감됨을 확인할 수 있다.

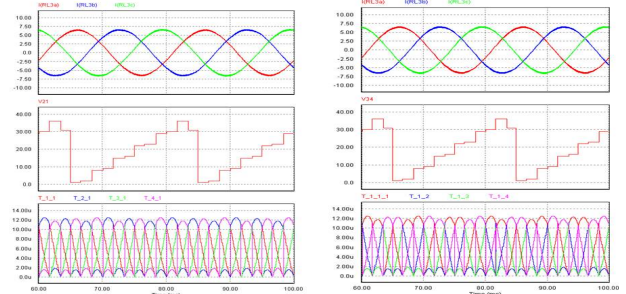


Fig 3. 출력전류파형 및 섹터에 따른 유효벡터 인가시간변경

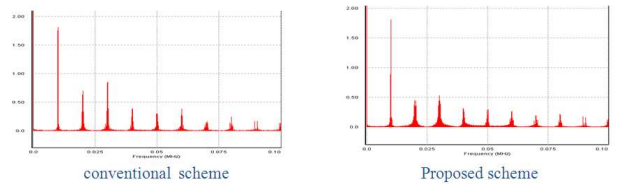


Fig 4. 입력전류의 고조파 FFT 비교; (좌) 기존방식, (우) 제안방식

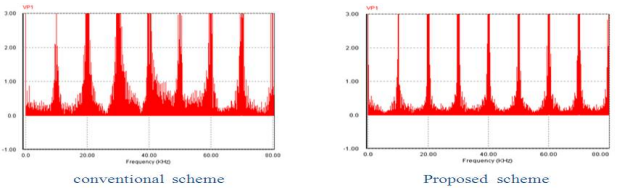


Fig 5. 출력전압의 고조파 FFT 비교; (좌) 기존방식, (우) 제안방식

### 4. 결론

본 논문에서는 입력 및 출력 섹터에 따라 구분된 4개 그룹에 따라 유효벡터인가시간에 대한 스위칭시퀀스를 변경하는 기법을 고찰하였고, PSIM에 의한 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 제어기법이 기존기법에 비해 손실을 억제하고 또한 입력전류 및 출력전압의 고조파도 억제함을 확인하였다.

#### 참고 문헌

[1] Christian Klumpner "New contributions to the matrix converter technology" pp.27-31, 2000