

## 보조스위치를 이용한 매트릭스 컨버터(Matrix Converter)의 소프트스위칭 기법

엄태욱, 김윤호, 김승모  
중앙대학교 전자전기공학부

### A Soft-Switching Technique of Matrix Converters using Auxiliary Switch

Tae Wook Um, Yoon Ho Kim, Seung Mo Kim  
School of Electrical & Electronic Eng., Chung-Ang University

#### ABSTRACT

This paper presents a soft-switching technique of single-stage power conversion Matrix Converter of AC-AC converters. Conventional hard-switching method is limited to operate at low switching frequency due to increased switching loss. In this paper, by additional auxiliary switch circuits, it is shown that the main switch of the matrix converter operate as a zero-voltage switches, and the auxiliary switch operate as a zero current switch. Finally, the soft-switching technique with auxiliary switches is compared with conventional hard-switching technique, and is analyzed by simulation.

#### 1. 서 론

AC-AC 매트릭스 컨버터(Matrix Converter) 적은 크기, 높은 전력밀도, 양방향전력흐름, 높은 동적 성능 등과 같은 많은 장점을 가지고 있다. 최근에 매트릭스컨버터는 DC 링크를 가진 AC-AC 컨버터에 대한 대안으로 상당한 주목을 받고 있다. AC-AC 컨버터는 유도성 전력의 발생, 유도전동기의 속도제어 등과 같은 산업응용에 널리 사용되어 왔다. AC-AC 컨버터는 두개의 다른 그룹으로 나누어 질 수 있다. 첫 번째로는 다상 입력과 다상 출력사이에 DC링크를 채택하는 방식과 다른 하나는 입력 선간전원과 부하출력라인을 매트릭스 스위치를 통해 직접 연결하는 방식이다. 매트릭스 컨버터는 기존의 AC-AC 컨버터(PWM 정류기/ DC 링

크 / 인버터의 구조)와 비교하여 볼 때 가장 큰 장점은 1단 전력변환의 구조로 인하여 DC 링크 커패시터가 필요치 않다는 것이다. 근래에는 DC 링크를 가진 AC-AC컨버터의 성능이 소프트 스위칭 기술에 의해 개선되어 오면서, 높은 스위칭 주파수에서의 동작이 가능하게 되었다.<sup>[1],[2]</sup> 소프트 스위칭 기술에 의해 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 발생하는 장점을 요약하면, 스위칭 손실과 스위치의 스트레스를 줄일 수 있고, 효율을 개선할 수 있으며, 컨버터의 크기를 줄일 수 있다. 그러나 최근에도 AC-AC 매트릭스 컨버터의 복잡한 보호회로, 스너버 회로, 복잡한 제어와 낮은 주파수로 인한 거대한 입력 필터 등과 같은 몇 가지 문제를 가지고 있기 때문에 아직까지는 실제 적용에 있어서 그 수가 많지 않았다. 만일 이러한 문제를 해결하거나 줄인다면 AC-AC 매트릭스 컨버터는 DC링크를 가진 AC-AC 전력변환기를 대체할 수 있는 대안으로 큰 역할을 할 것이다. 이러한 방법으로 몇몇 논문들이 제안되어 왔다. 공진 폴(Pole) 개념<sup>[3]</sup>을 기초로 한 영전압 스위칭 기술을 이용한 소프트 스위칭 매트릭스 컨버터<sup>[4]</sup>를 제안하였다. 비록 이러한 방법을 컨버터의 양방향스위치에 적용하면 영전압상태에서 스위칭 되지만, 다음과 같은 단점이 발생한다. 양방향 스위치와 공진 인덕터가 높은 전류 스트레스 받고, 또한 공진 인덕터는 전력의 전달경로에 놓이게 된다. 각각 6개의 다이오드, 두 개의 능동스위치 그리고 LC 공진 탱크회로로 구성된 양방향 스위치를 가진 스위칭 손실이 없는 매트릭스 컨버터<sup>[5]</sup>는 각각의 양방향스위치에 많은 수의 부품을 포함한다는 것과 공진 인덕터가 전력전달경로에 위치한다는 단점을 가진다. 이 논문의 목적은 영전압 스위칭 기술을 이용하여, AC-AC 매트릭스 컨버터

를 스위칭하는 것이다. 이것은 각각의 부하상에 병렬로 연결된 하나의 커패시터, 하나의 인덕터 그리고 하나의 양방향 보조 스위치로 구성된 정류보조 회로 (Commutation Auxiliary Circuit)에 의해 구현될 수 있다. 정류보조회로가 부가된 매트릭스 컨버터에 대해 가상의 DC 링크개념을 이용하여 해석하고, 시뮬레이션 했다.

## 2. 매트릭스 컨버터의 구조 및 동작원리

그림 1은 3상 교류 매트릭스컨버터의 구조를 나타낸다.

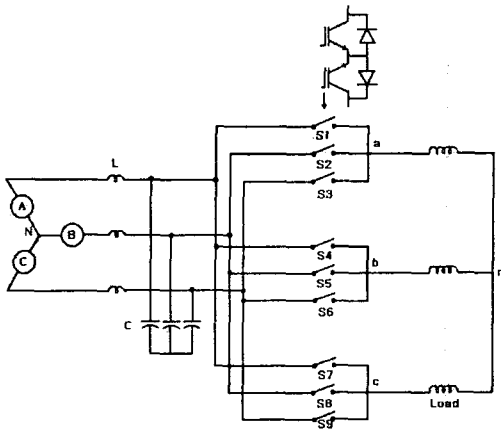


그림 1. 3상 매트릭스 컨버터의 구조

Fig 1. Construction of 3-phase Matrix Converter.

그림 1에서 a상의 출력전압  $V_{an}$ 은 스위치 S1, S2, S3로 구성된 스위치 그룹(Group)1과 연결되어 있는데 이러한 스위치 그룹1의 각 스위치들은 입력의 각상과 연결되어 3상 입력전압 중에 어느 전압이든 필요에 따라 스위치 그룹 1의 양방향 스위치의 절체에 의해 원하는 출력전압을 얻을 수 있다.

위의 그림에서 입력측 상전압을 각각  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$ 라 하고, 출력측 상전압을 각각  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$ ,  $V_{cn}$ 라 하면 출력측 상전압은 다음식과 같이 각상의 스위칭과 입력측 상전압의 행렬로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S1 & S2 & S3 \\ S4 & S5 & S6 \\ S7 & S8 & S9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

매트릭스 컨버터는 그림에서 알 수 있듯이 우리가 통상 알고 있는 AC/AC 컨버터구조(정류기/DC 링크/인버터)와는 다른 것을 알 수 있다. 매트릭스 컨버터는 일반적인 AC/AC 컨버터에 있는 DC링크가 존재하지 않음을 볼 수 있다. 이렇듯 DC링크의 부

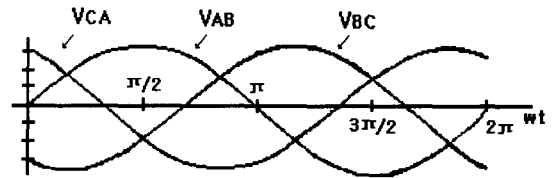
재로 인하여 소형화를 할 수 있다는 장점이 있지만, 입력측에 과전압이나 외란에 의해 출력전압이 직접영향을 받을 수 있다는 단점이 있다. 이러한 매트릭스 컨버터의 장점과 단점을 표1에 요약하여 나타냈다.

표1. 매트릭스 컨버터의 장점 과 단점

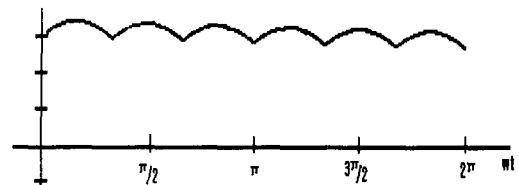
Table1. Advantage & disadvantage of Matrix Converter

장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 1단 전력변환 가능</li> <li>② 양방향전력흐름제어 가능</li> <li>③ DC 링크 부재로 인한 소형화 가능</li> <li>④ 부하와 무관하게 역률을 "1"로 할 수 있다.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 전압 전달비(출력전압/입력전압 = 0.866)가 작다.</li> <li>② 스위치의 제어 및 보호회로가 복잡하다.</li> <li>③ 입력단의 외란이 출력단으로 그대로 전달된다.</li> <li>④ 제어를 위해 사용되는 소자가 많다.</li> </ul>

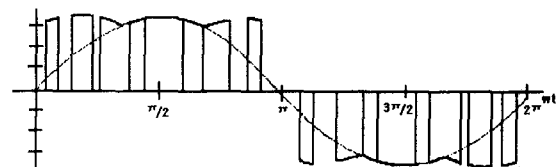
위에 설명한 3상 매트릭스 컨버터의 구조에서 원하는 출력파형을 얻으려면, 비록 정류기와 커패시터에 의한 DC 링크단은 없지만, 다음 그림 2(a)와 같은 입력전원을 매트릭스 스위치의 동작의 조합에 의해 그림 2(b)와 같이 마치 전파 정류한 직류 파형처럼(실제로는 각상의 입력 선간전압의 절대값의 최대치의 전압) 가상의 DC 링크단을 구현할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 매트릭스 컨버터의 출력전압 파형의 제작원리  
Fig 2. Principle of output voltage production of Matrix Converter

가상의 DC 링크원리를 이용하여, 출력전압을 제작하기 위해서는 각상의 입력전압의 절대값의 최대치를 이용하여, 스위치의 스위칭 조합에 의해, 해당하는 입력전압을 출력 측으로 유도한다. 이때 스위치의 스위칭 주파수는 입력단 전압의 주파수보다 매우 크기 때문에 스위칭 주기 안에서 출력해야할 전압의 순시치를 적절한 PWM(Pulse Width Modulation) 조작에 의해 구현하게 된다.

표2. 3상 매트릭스 컨버터의 스위칭 조합  
Table2. Switching Combination of 3-Phase Matrix Converter

No	GRP	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	V <sub>ab</sub>	V <sub>bc</sub>	V <sub>ca</sub>
1	I	1	0	0	1	0	0	1	0	0	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>
2		1	0	0	0	0	1	0	1	0	-V <sub>CA</sub>	-V <sub>BC</sub>	-V <sub>AB</sub>
3		0	1	0	1	0	0	0	0	1	-V <sub>AB</sub>	-V <sub>CA</sub>	-V <sub>BC</sub>
4		0	1	0	0	0	1	1	0	0	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>	V <sub>AB</sub>
5		0	0	1	1	0	0	0	1	0	V <sub>CA</sub>	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>
6		0	0	1	0	1	0	1	0	0	-V <sub>BC</sub>	-V <sub>AB</sub>	-V <sub>CA</sub>
7	II-1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	-V <sub>CA</sub>	0	V <sub>CA</sub>
8		0	1	0	0	0	1	0	0	1	V <sub>BC</sub>	0	-V <sub>BC</sub>
9		0	1	0	1	0	0	1	0	0	-V <sub>AB</sub>	0	V <sub>AB</sub>
10		0	0	1	1	0	0	1	0	0	V <sub>CA</sub>	0	-V <sub>CA</sub>
11		0	0	1	0	1	0	0	1	0	-V <sub>BC</sub>	0	V <sub>BC</sub>
12		1	0	0	0	1	0	0	1	0	V <sub>AB</sub>	0	-V <sub>AB</sub>
13	II-2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	V <sub>CA</sub>	-V <sub>CA</sub>	0
14		0	0	1	0	1	0	0	0	1	-V <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>	0
15		1	0	0	0	1	0	1	0	0	V <sub>AB</sub>	-V <sub>AB</sub>	0
16		1	0	0	0	0	1	1	0	0	-V <sub>CA</sub>	V <sub>CA</sub>	0
17		0	1	0	0	0	1	0	1	0	V <sub>BC</sub>	-V <sub>BC</sub>	0
18		0	1	0	1	0	0	0	1	0	-V <sub>AB</sub>	V <sub>AB</sub>	0
19	II-3	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	V <sub>CA</sub>	-V <sub>CA</sub>
20		0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	-V <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>
21		1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	V <sub>AB</sub>	-V <sub>AB</sub>
22		1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	-V <sub>CA</sub>	V <sub>CA</sub>
23		0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	V <sub>BC</sub>	-V <sub>BC</sub>
24		0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	-V <sub>AB</sub>	V <sub>AB</sub>
25	III	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
26		0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
27		0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0

※ 스위치상태 (1:On, 0:Off)

앞의 표2는 3상 매트릭스 컨버터의 실제로 이용될 수 있는 27개의 스위칭 조합을 나타냈다. 표에서 보면 그룹(GRP)은 6개의 스위칭 조합으로 구성되어있는데 각각의 출력상이 서로 다른 입력상과 연결되어있고, 그룹(GRP)II는 3개의 서브 그룹(Sub-GRP)으로 나뉘는데, 이 서브 그룹(II-1, II-2, II-3)은 각각 6개의 스위칭 조합으로 구성된다. 그룹(GRP)II에서는 출력상중에서 2개의 상이 같은 입력상과 연결되어, 단락회로를 형성한다. 마지막으로 그룹(GRP)III는 모든 출력상이 같은 입력상에 연결되어, 3개의 스위칭 조합으로 구성된다. 그러므

로 원하는 출력 상전압을 얻기 위해서는 주어진 3상 입력전압을 이용하여, 적절한 스위칭 방법에 의해 합성하게 되면 원하는 출력전압을 얻을 수 있다.

### 3. ZVS 매트릭스 컨버터

#### 3.1 3상-단상 매트릭스 컨버터

그림1에서는 영전압 스위칭(ZVS) 3상-단상 AC-AC 매트릭스 컨버터를 나타냈으며, 여기서 각상의 입력전압은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{an} = V_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t) \quad (2)$$

$$V_{bn} = V_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t - 120^\circ) \quad (3)$$

$$V_{cn} = V_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t + 120^\circ) \quad (4)$$

이러한 회로형상은 AC-AC 매트릭스 컨버터에서 부하에 병렬로 연결된 정류보조회로(Commutation Auxiliary Circuit)를 추가하여 얻어질 수 있다.

보조정류회로는 LC 공진회로와 양방향 스위치에 의해 구성된다. 3Φ 입력 - 3Φ 출력에서는 각 상당 하나의 보조정류회로가 필요하게 된다. 이러한 ZVS AC-AC 매트릭스 컨버터의 특징은 다음과 같다.

- 보조정류회로는 주 전력전달경로를 완전히 벗어나고, 단지 스위칭 순간에만 동작한다.
- 양방향주스위치는 영전압에서 스위칭 한다.
- 양방향 보조스위치는 영전류에서 스위칭 한다.
- 모든 스위치에서의 소프트 스위칭은 부하에 상관없이 보장된다.

#### 3.2 동작원리

부가된 보조정류회로는 AC-AC 매트릭스 컨버터의 기본동작원리를 변경하지 않고, 단지 정류기간 동안에만 동작한다. 가상의 DC 링크의 개념은 3상의 입력 선간전압의 절대치의 최대값으로 나타낸다.

##### 3.2.1 정류과정(Commutation Process)

정류과정을 해석하기 위해서는 다음과 같은 가정을 해야 한다.

- ① 컨버터의 입력전압 ( $V_{an}$ ,  $V_{bn}$ ,  $V_{cn}$ )은 정류기간동안에 일정한 것으로 생각한다. 이것은 주스위치(Main switch)의 스위칭 시간이 입력전압의 주파수보다 훨씬 크기 때문이다.

② 위와 같은 형태로 출력 전류원은 일정하다고 가정한다.

③ 모든 스위치와 부품은 이상적이라고 가정한다.  
그림 3은 위의 가정 하에서 영전압 스위칭(ZVS) 3상-단상 AC-AC 매트릭스 컨버터에 대한 간략화된 회로를 제시한 것을 나타냈다.

- 정류과정은 다음과 같은 각상의 입력전압이 다음과 같은 값을 갖는 순간을 가정하고, 해석한다.

$$V_{an} = 0.5V_i, V_{bn} = -V_i; V_{cn} < 0.5V_i$$

- 출력전류원은  $I_0$ 이다.

- 가상의 DC 링크개념을 도입하여, 입력 전압원  $V_{cn}$ 과 스위치  $S_c$ 는 다음해석에서 포함시키지 않는다. 그러므로 그림 4(a)에 나타난 회로는 그림 4(b)에 나타낸 회로와 같이 간략화 될 수 있다. 그림 5는 그림 4(b)의 간략화된 등가회로에 의해 유도될 수 있는 7가지 형태의 모드를 보인다.

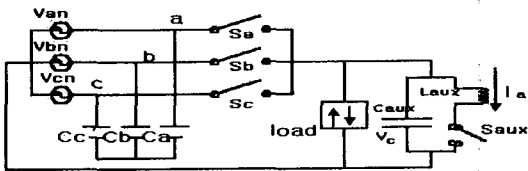


그림 3. 3Φ-1Φ ZVS 매트릭스컨버터의 회로  
Fig 3. Circuit of 3Φ-1Φ ZVS Matrix Converter

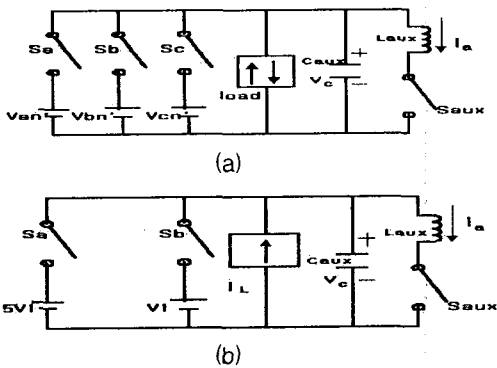
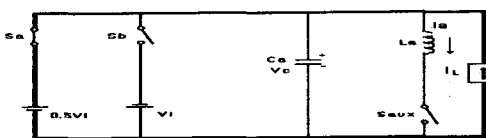
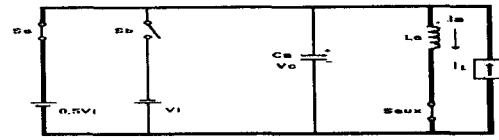


그림 4. (a) 3Φ-1Φ ZVS 매트릭스컨버터의 간략화된 회로  
(b) 분석을 위한 회로

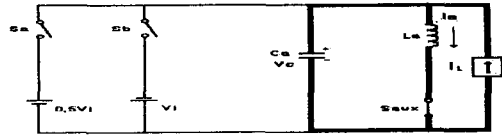
Fig 4. (a) Simplified circuit of 3Φ-1Φ ZVS Matrix Converter. (b) Circuit for analysis



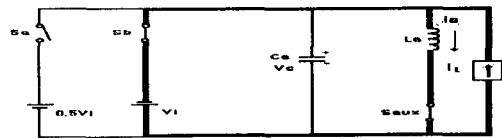
모드1



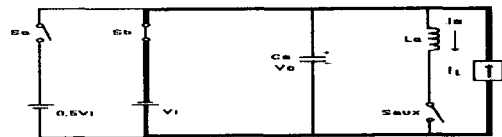
모드2



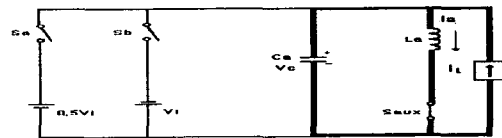
모드3



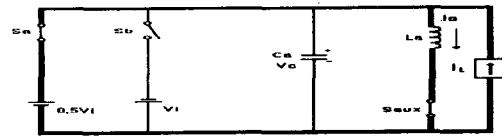
모드4



모드5



모드6



모드7

그림 5. 모드별 동작원리  
Fig 5. Operation principle of modes

① 모드1 : 첫 번째 구간( $t_0, t_1$ ) -  $t_0$ 에서 스위치  $S_a$ 가 온(On)되면, 부하전류는 전원  $0.5V_i$ 를 향해 흐르게 된다. 스위치  $S_b$ 의 양단전압은  $1.5V_i$ 이고, 정류 커패시터의 전압은  $0.5V_i$ 이다. 이 구간동안에는 부하쪽 에너지를 입력 전압원으로 운반한다.

② 모드2 : 두 번째 구간 ( $t_1, t_2$ ) - 이 구간에서는 보조스위치  $S_{aux}$ 가 영(Zero)전류조건에서 턴온

(Turn on)될 때 시작된다. 이 구간 동안 정류 커패시터의 전압은  $0.5V_i$ 로 유지되고, 정류 인덕터의 전류는  $\Delta I_a$ 이 될 때까지 선형적으로 증가한다. 이 값은 다음구간에서 정류 커패시터를  $0.5V_i$ 에서  $-V_i$ 로 충전하는데 사용되는 전류이다. 영(Zero) 전압조건에서 스위치  $S_a$ 가 턴오프(Turn off)되면, 이 구간이 끝나게 된다.

③ 모드3 : 세 번째 구간 ( $t_2, t_3$ ) -  $t_2$ 시가에서  $L_a$  와  $C_a$  사이에서 공진이 시작된다. 이 구간동안의 정류 커패시터의 전압은 공진형태를 가지고  $0.5V_i$ 에서  $-V_i$ 로 변하게 된다. 그 전압이  $-V_i$ 에 이르면 영전압 조건하에서 스위치  $S_b$ 가 턴온(Turn on)되면서 끝난다.

④ 모드4 :네 번째 구간 ( $t_3, t_4$ ) - 이 구간에서는 정류인덕터의 전류가 선형적으로 감소한다.  $I_a$ 이 영(Zero)이 되고, 보조스위치가 영전류 조건에서 턴오프되면 이 구간이 끝나게 된다.

⑤ 모드5 : 다섯 번째 구간 ( $t_4, t_5$ ) - 이 구간동안 스위치  $S_b$ 가 온(On)되어, 입력전원전압  $V_i$ 에서 부하로 전력이 전달된다.

⑥ 모드6 : 여섯 번째 구간 ( $t_5, t_6$ ) -  $t_5$  시간에서 보조스위치  $S_{aux}$ 가 턴온(Turn on) 된다.  $-V_i$ 에서  $0.5V_i$ 로 정류 커패시터의 전압이 바뀌는 것과 동조되어, 출력전류의 방향이 바뀌기 때문에, 스위치  $S_b$ 는 즉시 턴오프(Turn off)되어질 수 있다. 이 구간동안 정류 커패시터의 전압이  $0.5V_i$ 에 이를 때까지 공진형태로 나타나게 된다. 이 순간에 스위치  $S_a$ 는 영전압 조건 하에서 턴온(Turn on) 된다.

⑦ 모드7 : 일곱 번째 구간 ( $t_5, t_6$ ) - 이 구간 동안 정류 인덕터의 전류는 영(Zero)이 될 때까지 선형적으로 감소한다. 영(Zero)이라면 보조스위치는 영전류 조건 하에서 턴오프(Turn off) 된다.  $t_0$ 가 되면 다른 스위칭 사이클이 시작된다.

위의 동작구간별 설명을 요약해보면 주 스위치가 턴온(Turn off)를 필요로 할 때 보조스위치는 턴온(Turn on)되어야 한다. 주스위치가 턴오프(Turn off)되기 전에 정류 인덕터의 전류값은 정류 커패시터의 전압의 반대 값이 되어야한다. 만일 이러한 조건이 보장되면 부하에 무관하게 모든 주스위치는 영전압에서, 모든 보조스위치는 영전류에서의 정류를 보장한다. 그림 6는 각 모드별로 이론적으로 연관된 파형을 보인다.

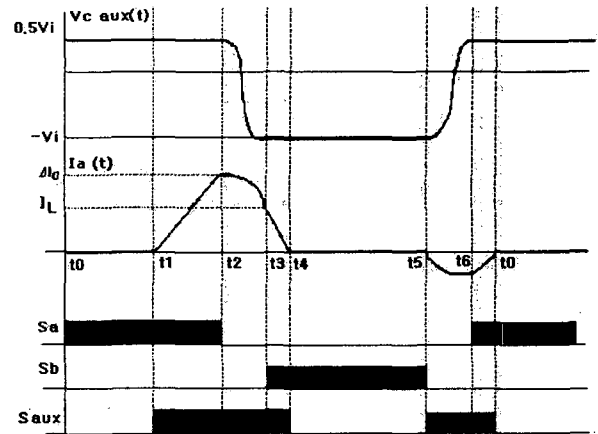


그림 6. ZVS 매트릭스 컨버터의 보조스위치 전압과 전류파형

Fig 6. Auxiliary switch current and voltage waveform of ZVS Matrix Converter

#### 4. 시뮬레이션(Simulation) 결과

정류보조회로가 부가된 매트릭스 컨버터의 특성을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

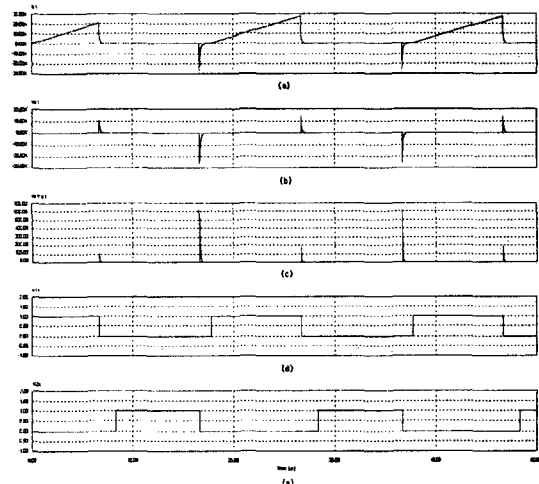


그림 7. 기존의 매트릭스 컨버터의 각부파형

(a)  $s_a$  양단의 전류, (b)  $s_a$  양단의 전압, (c)  $s_a$ 의 스위칭 손실, (d)  $s_a$ 의 게이트 전압, (e)  $s_b$ 의 게이트 전압

Fig 7. Simulation waveform of conventional Matrix Converter

(a) Current of  $s_a$ , (b) Voltage of across  $s_a$ , (c) Switching loss of  $s_a$ , (d) Gate voltage of  $s_a$ , (e) Gate voltage of  $s_b$

그림 7은 매트릭스 컨버터가 정류보조회로가 없이 하드 스위칭으로 동작할 때에 주스위치 양단에 걸리는 전압과 전류와 스위칭시의 전력 그리고 주스위치의 게이트 전압을 나타냈다.

또한 그림 8은 보조정류회로를 적용한 ZVS 매트릭스 컨버터의 각부 파형을 나타냈다.

그림 7와 그림 8을 비교해보면 하드 스위칭의 경우에는 스위칭 순간에 전류와 전압이 겹쳐지는 구간이 생겨 스위칭 손실이 발생함을 알 수 있고, 보조정류회로를 적용한 경우에는 스위칭 손실이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

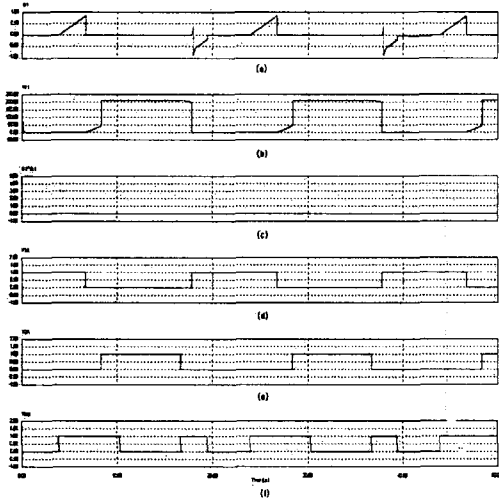


그림 8. ZVS 매트릭스 컨버터의 각부파형  
 (a)  $s_a$  양단의 전류 (b)  $s_a$  양단의 전압 (c)  $s_a$ 의 스위칭 손실  
 (d)  $s_a$ 의 게이트 전압 (e)  $s_b$ 의 게이트 전압  
 (f)  $s_{aux}$ 의 게이트 전압  
 Fig 8. Simulation waveform of ZVS Matrix Converter  
 (a) Current of  $s_a$  (b) Voltage of across  $s_a$   
 (c) Switching loss of  $s_a$  (d) Gate voltage of  $s_a$   
 (e) Gate voltage of  $s_b$  (f) Gate Voltage of  $s_{aux}$

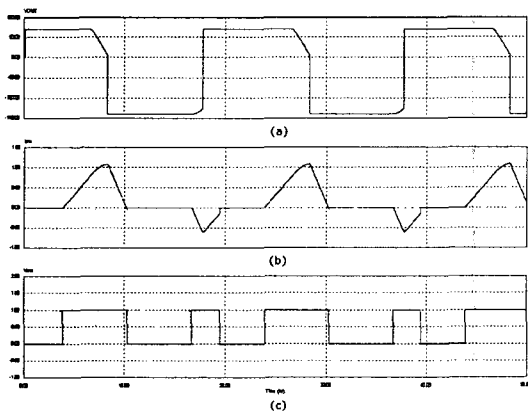


그림 9. ZVS 매트릭스 컨버터의 보조스위치의 전류(a), 전압파형(b)과 게이트 전압(c)  
 Fig 9. Auxiliary switch current(a), voltage(b) and gate voltage simulation waveform of ZVS Matrix Converter

그림 9는 ZVS 매트릭스 컨버터에 보조정류회로를 적용한 경우에 보조스위치에 흐르는 전류와 전압을 나타냈으며, 이 보조스위치가 영전류에서 스위칭 되는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 기존의 하드 스위칭 매트릭스 컨버터와 정류보조회로를 가진 ZVS 소프트 스위칭 매트릭스 컨버터의 스위칭시의 특성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 분석과정에서 입력전원의 주파수가 매트릭스 컨버터의 주스위치의 스위칭 주파수에 비해 매우 작기 때문에 주스위치가 스위칭하는 순간에 입력전압은 일정한 값을 갖는다는 가상의 DC 링크 개념을 도입하여, 해석하였다. 그 결과 기존의 매트릭스 컨버터에 정류보조회로를 추가하여 주스위치는 영전압에서 그리고 보조스위치는 영전류에서 스위칭 함으로써 스위칭 순간에 발생하는 손실을 제거할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] D.M. Divan, "The Resonant DC-link Converter - A New Concept in Static Power Conversion", *IEEE IAS Rec.* 1986, pp.648-656.
- [2] D.M. Divan and G. Skibinski, "Zero Switching loss Inverters for High Power Applications", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 25, no. 4. 1989, pp.634-643.
- [3] J.G. Cho, D.Y. Hu and G.H. Cho, "Three Phase Sine Wave Voltage Source Inverter using Soft Resonant Poles", *IEEE IECON Rec.* 1989, pp.48-53
- [4] J.G. Cho and G.H. Cho, "Soft Switched Matrix Converter for High Frequency Direct AC-to-AC Power Conversion", *EPE Conf. Rec.* 1991, vol.4, pp.4:196-4:201.
- [5] C.T. Pan, T.C. Chen and J.J. Shieh, "A Zero Voltage Loss Matrix Converter", *IEEE PESC Rec.* 1993, pp.545-550.
- [6] L. Gyugyi, "Input Power Factor of AC to AC Power Conversions", *IEEE trans. Ind. Appl.*, vol.1A-16, no.2, pp.524, 1980.
- [7] M. Venturini and A. Alesina, "The Generalized Transformer: A new Bi-directional Sinusoidal Waveform Frequency Converter with Continuously adjustable Input Power Factor", *IEEE PESC Rec.* 1980, pp.242-252.