

# 매트릭스 컨버터에 의한 유도전동기 전류제어기법에 관한 연구

원민항, 정의현, 이흥희  
 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

## A Study on Current Control Method for Induction Motor Using Matrix Converter

Minh-Hoang Nguyen, Eui-Heon Jung, Hong-Hee Lee  
 School of Electrical Engineering, University of Ulsan

### ABSTRACT

Three-phase Matrix Converter has become an effective substitution for the conventional converter module due to generation of the feasible variety of frequency and amplitude output voltage without energy storage elements besides the advantage of unity input power factor at the power supply and the regeneration capability. This paper introduces two kinds of current controllers for the matrix converter fed induction motor. Some simulated results are carried out to verify the effectiveness of the two-proposed methods as compared with the classical method using voltage source inverter.

벡터제어기법을 사용해 유도전동기를 제어할 경우 일반적으로 전류제어방식이 많이 사용되고 있는데 이는 전동기의 제어특성, 즉, 토크 응답특성이 전동기에 흐르는 전류에 의해 결정되기 때문이다.<sup>[5]</sup> 특히, 히스테리시스 제어기의 경우 알고리즘이 간단하고 구현이 쉽기 때문에 기존의 전압형 PWM 인버터에서 일반적으로 많이 사용되고 있고 보다 좋은 PWM 파형을 얻기 위한 연구가 계속되어져 왔다.<sup>[6],[7]</sup>

본 논문에서는 매트릭스 컨버터를 사용해 유도전동기의 벡터제어를 구현할 경우 효과적인 전류제어기법을 제안하고 기존의 전압형 인버터에서 히스테리시스 제어기에 의한 전류제어특성을 비교하여 제안된 전류제어기법이 매트릭스 컨버터에서 효과적으로 사용될 수 있음을 보이고자 한다.

### 1. 서론

매트릭스 컨버터는 교류를 직접 교류로 변환하는 최신형 전력변환기로 1980년대 이후부터 많은 관심을 가져왔다. 매트릭스 컨버터는 기존의 인버터와는 달리 정류기나 평활용 콘덴서를 통하지 않고 상용전원으로부터 직접 교류를 공급할수 있는데 그 장점을 구체적으로 나열하면 다음과 같다.<sup>[1]-[4]</sup>

1. 평활용 콘덴서가 필요없기 때문에 구조가 간단하고 수명이 길다.
2. 전원측에서의 입력 역율을 1로 할 수 있다.
3. 회생능력을 갖고 있기 때문에 4상한 운전이 가능하다.
4. 한 스위치에 전류가 집중되지 않고 연속적인 고속운전이 가능하다.

매트릭스 컨버터의 구조는 그림 1과 같고 그림에서 나타나 있는 각각의 스위치는 양방향 제어특성을 갖고 있다.

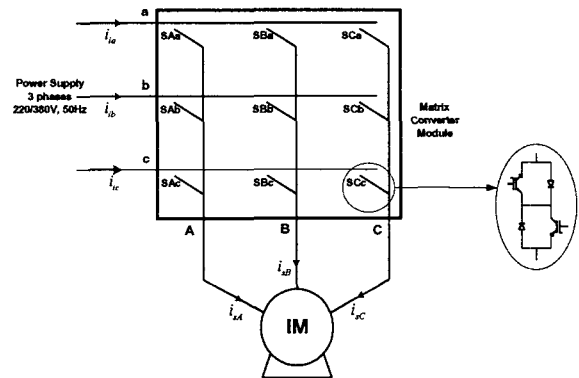


그림 1 매트릭스 컨버터 구조  
 Fig. 1 Block diagram of matrix converter

### 2. 전류제어기법

#### 2.1 간접벡터제어에 의한 유도전동기 전류제어

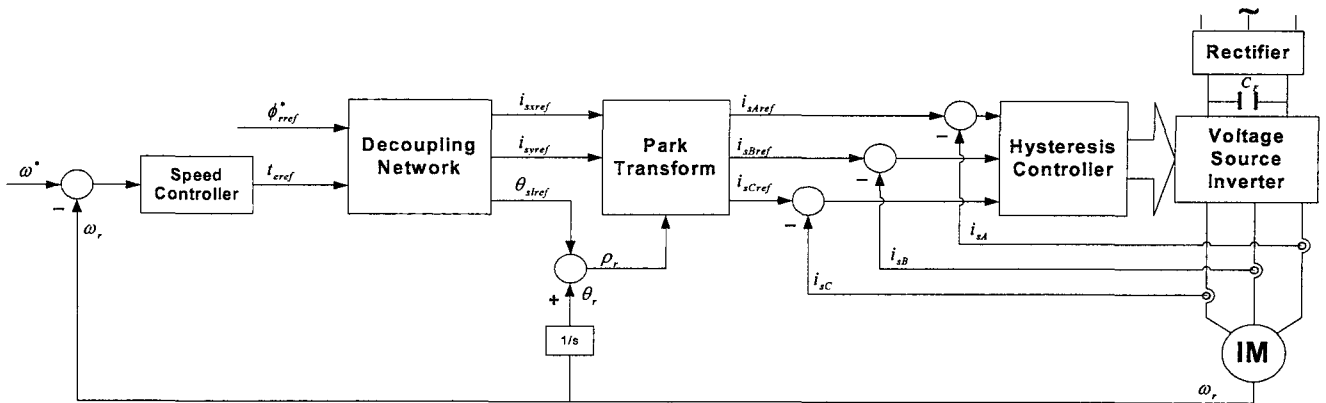


그림 2 전압형 인버터를 사용한 간접벡터제어기법에 의한 유도전동기 제어 블록도

Fig. 2 The block diagram of the conventional indirect vector control for induction motor using VSI

간접벡터제어에 의한 유도전동기의 전류제어기법은 그림 2와 같다. 전류제어를 위한 전류지령치를 구하기 위해서는 회전자의 자화전류벡터의 위상각 ( $\rho_r$ )을 알아야 하는데  $\rho_r$ 은 다음과 같이 구한다.

$$\omega_{mr} = \omega_r + \omega_{sref} \quad (1)$$

단,  $\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$ ,  $\omega_{sref} = \frac{i_{syref}}{T_r i_{sxref}}$  이며  $i_{sxref}$

와  $i_{syref}$ 는 회전자 기준 회전자표상에서의 직축 및 횡축 전류성분을 나타낸다. 또한, 회전자의 동기회전자표계의 속도는 다음과 같다.

$$\omega_{mr} = \frac{d\rho_r}{dt} \quad (2)$$

(1), (2)로부터 회전자의 자화전류벡터의 위상각은 식(3)과 같다.

$$\rho_r = \int \omega_{mr} dt = \theta_r + \int \omega_{sref} dt = \theta_r + \int \frac{i_{syref}}{T_r i_{sxref}} dt \quad (3)$$

$\rho_r$ 를 알면 식(4)를 이용해 전류지령치를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{sAref} \\ i_{sBref} \\ i_{sCref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \rho_r & -\sin \rho_r \\ \cos(\rho_r - 2\pi/3) & -\sin(\rho_r - 2\pi/3) \\ \cos(\rho_r - 4\pi/3) & -\sin(\rho_r - 4\pi/3) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{sxref} \\ i_{syref} \end{bmatrix} \quad (4)$$

이렇게 얻어진 3상 전류지령치와 실제로 측정된 3상 전류를 이용해 히스테리시스 제어를 통해 스위칭 패턴을 결정한다. 기존에 사용된 히스테리시스 제어기는 그림 3과 같다. 그림 3에서 히스테리시스 제어기의 출력  $C_i$ 가 +1인 경우는 +축의 스위치가 도통상태로 되고 -1인 경우는 그 반대이다.

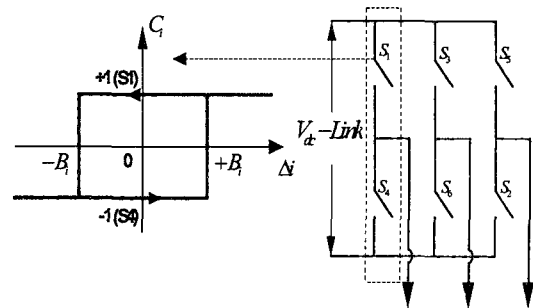


그림 3 히스테리시스 제어기

Fig. 3 The hysteresis controller

## 2.2 매트릭스 컨버터에서 제안된 전류제어기 1

그림 4는 본 논문에서 제안하는 매트릭스 컨버터에 의한 전류제어기의 한 예를 보여주고 있다. 매트릭스 컨버터의 경우 기존의 인버터와 같이 정류된 일정 크기의 직류를 사용하지 않고 교류 입력을 그대로 사용하는 까닭에 기존의 히스테리시스 제어기를 그대로 사용할 경우 만족할만한 제어특성을 얻을 수 없다. 그래서 본 연구에서는 그림 4와 같이 입력전압을 측정하여 부하전류에 따라서 입력전압을 선택할 수 있도록 했다. 즉, 매트릭스 컨버터의 경우 그림 5와 같이 3가지 형태의 입력전압을 취할 수 있으므로 전류오차에 따라 매 샘플링 주기마다 다른 상의 전압을 인버터 입력으로 선택할 수 있다. 구체적으로, 전류 오차가 양의 오차 대역폭을 벗어나면 히스테리시스 제어기의 출력  $C_i$ 는 +1이 되고 인버터 입력은 3상 교류 가운데 가장 큰 전압  $V_{max}$ 가 인가된다. 반대로 전류오차가 음의 오차 대역폭을 벗어나면 히스테리시스 제어기의 출력  $C_i$ 는 -1이 되고 인버터 입력은 3상 교류 가운데 가장 낮은 전압이 인가된다. 따라서 이 경우는 최대 전압과 최소 전압이 교대로 인버터 입력으로 사용된다.

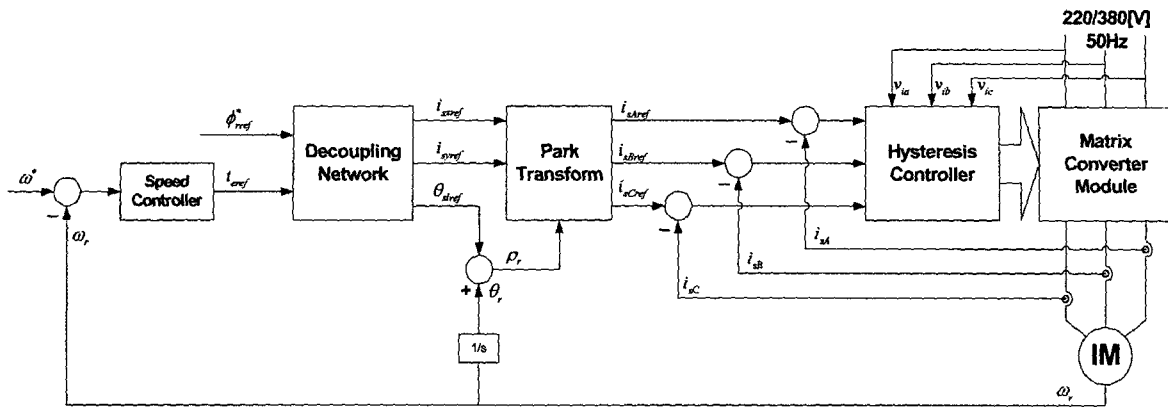


그림 4 매트릭스 컨버터를 사용한 간접벡터제어기법에 의한 유도전동기 제어 블록도  
 Fig. 4 The block diagram of the conventional indirect vector control for induction motor using Matrix converter

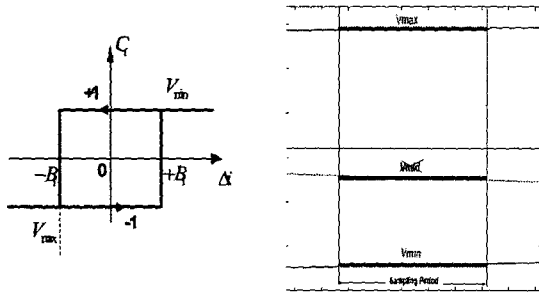


그림 5 제안된 히스테리시스 제어기 원리 I  
 Fig. 5 The principle of proposed hysteresis controller I

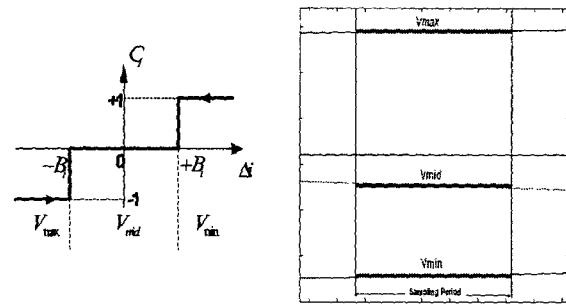


그림 6 제안된 히스테리시스 제어기 원리 II  
 Fig. 6 The principle of proposed hysteresis controller II

### 2.3 매트릭스 컨버터에서 제안된 전류제어기 II

매트릭스 컨버터의 경우 인버터의 입력으로 직류가 아닌 3상 교류입력이 존재하므로 3상 전압 가운데 하나를 인버터 입력으로 사용할 수 있다. 그림 6에 보인 것처럼 전류오차가 양의 오차 대역폭을 벗어나면 히스테리시스 제어기의 출력  $C_i$ 는 +1이 되고 인버터 입력은 3상 교류 가운데 가장 큰 전압  $V_{max}$ 가 인가된다. 반대로 전류오차가 음의 오차 대역폭을 벗어나면 히스테리시스 제어기의 출력  $C_i$ 는 -1이 되고 인버터 입력은 3상 교류 가운데 가장 낮은 전압  $V_{min}$ 이 인가된다. 또 다른 한가지 경우는 전류 오차가 대역폭 이내에 있을 경우  $C_i$ 는 0이 되고 가운데 크기의 전압  $V_{mid}$ 가 인버터 입력으로 된다. 따라서 이 경우에는 전류 오차에 따라 3상 입력전압 모두가 인버터 입력으로 사용된 경우이다.

### 3. 시뮬레이션 결과

제안한 전류제어기의 특성을 살펴보기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했다. 매트릭스 컨버터의 입력전압은 220/380[V], 60Hz이고 샘플링 주파수는 10KHz이다. 사용된 유도전동기의 정격 및 각종 정수들은 표 1과 같다.

그림 7은 기존의 히스테리시스 제어기를 사용한 경우와 본 논문에서 제안한 방법을 비교한 것으로 부하토크를 1N.m으로 기동하여 0.8s 시점에서 4N.m으로 부하토크를 변화시킨 경우의 토크특성을 보인 것이다. 시뮬레이션에서 알 수 있는 바와 같이 2가지 전압만을 사용한 경우는 기존의 전류제어기와 특성이 큰 차이가 없으나 3전압을 모두 사용한 경우는 기존의 전류제어기에 비해 현격하게 토크특성이 향상됨을 알 수 있다.

표 1 유도전동기 정수

Table 1 Induction Motor Parameters

Parameter	Value
Rated Power	1Hp
Rated Voltage	220/380[V], 60[Hz]
Number of Poles	4
Stator Resistance	9.53[Ω]
Rotor Resistance	5.619[Ω]
Stator Inductance	0.5317[H]
Rotor Inductance	0.505[H]
Mutual Inductance	0.447[H]
Inertia	0.0026[kg. m]

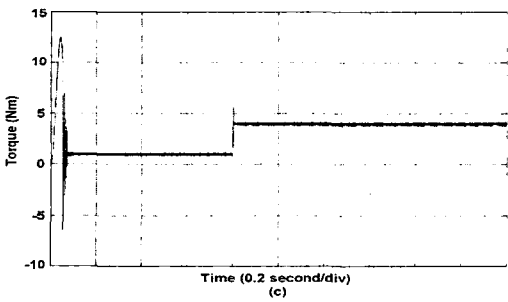
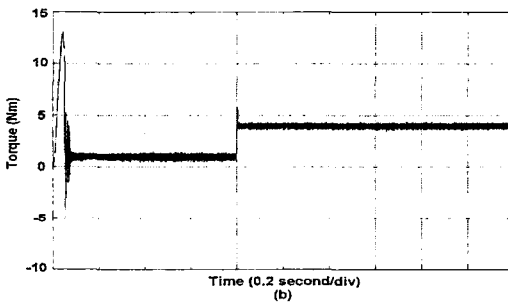
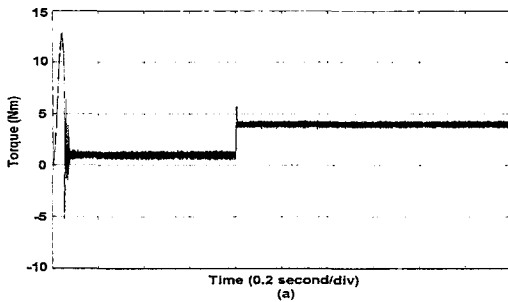


그림 7 출력토크 특성 (a)기존 VSI (b) 제안된 전류제어 기법 I (c) 제안된 전류제어기법 II

Fig. 7 Characteristics of output torque

- (a)The conventional method using VSI
- (b)Proposed method I (c)Proposed method II

그림 8에서 정상상태에서의 유도전동기의 3상 전류파형을 각각의 경우에 대해 나타낸 것이고 그림 9는 그림 8의 전류파형에 대한 고조파 성분의 분포를 분석한 것이다. 3상 전압을 이용한 매트릭스 컨버터의 전류특성이 기존의 전압형 인버터의 전류제어기의 특성에 비해 대단히 우수함을 알 수 있다.

그림 10은 매트릭스 컨버터에 의해 유도전동기에 인가되는 전압파형을 나타낸 것이다.

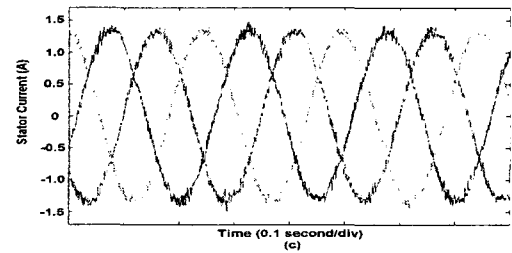
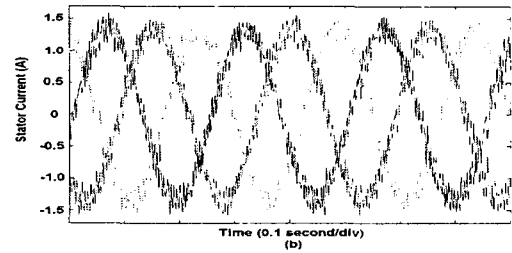
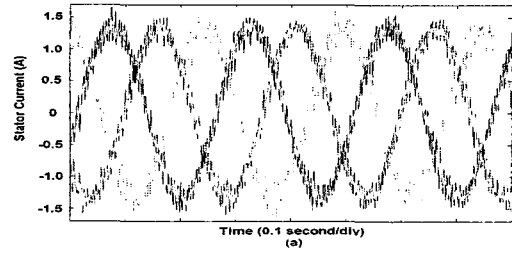
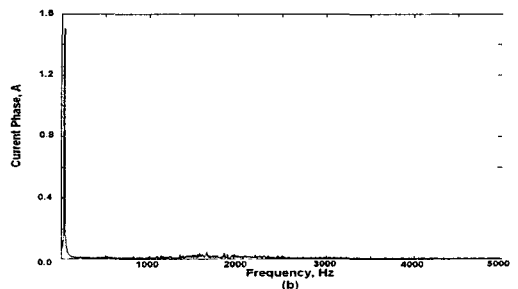
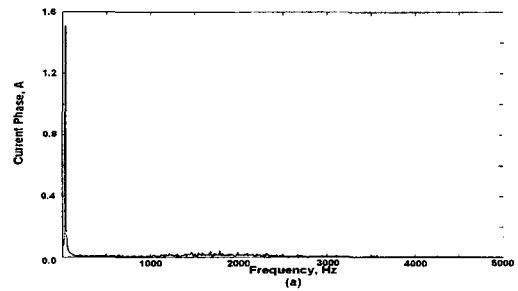


그림 8 고정자 전류파형 (a)기존 VSI (b) 제안된 전류 제어 기법 I (c) 제안된 전류제어기법 II

Fig. 8 Sator current waveforms

- (a)The conventional method using VSI
- (b) Proposed method I (c) Proposed method II



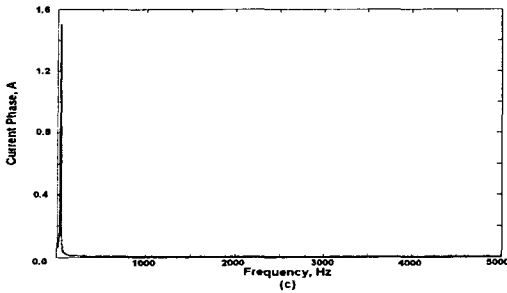


그림 9 고조파 성분 (a)기존 VSI (b) 제안된 전류제어 기법 I (c) 제안된 전류제어기법 II

Fig. 9 Harmonic components  
(a)The conventional method using VSI  
(b) Proposed method I (c) Proposed method II

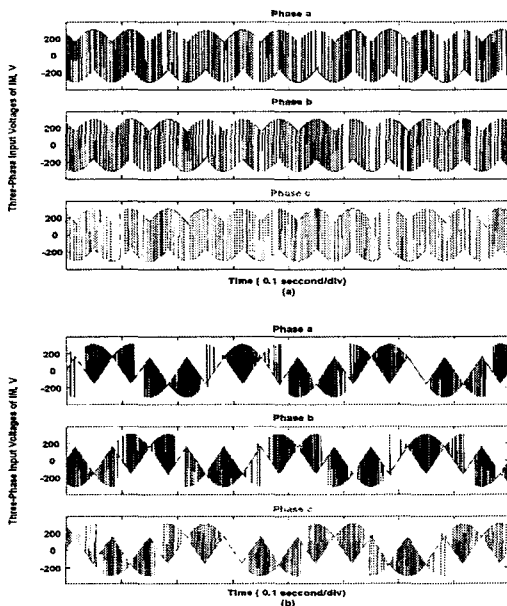


그림 10 유도전동기 3상 상전압 (a)제안된 전류제어 기법 I (b) 제안된 전류제어기법 II

Fig. 10 The three-phase stator voltages of IM  
(a) The first proposed method using MC  
(b) The second proposed method using MC

#### 4. 결 론

본 논문에서는 매트릭스 컨버터를 사용해 유도전동기의 벡터제어를 행할 경우 제어특성이 우수한 히스테리시스 전류제어기를 제안하고 그 타당성을 증명하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행했다.

제안된 전류제어기의 성능을 기존의 전압형 인버터에서 사용한 히스테리시스 전류제어기와 비교한 결과 대역폭 오차에 따라 3상 교류입력을 모두 사용한 히스테리시스 전류제어기의 특성이 월등히 우수함을 알 수 있었다. 향후 제안된 방법을 실험을

통해 구현하고자 한다.

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Eiji Watanabe, et al., "High Performance Motor Drive Using Matrix Converter", IEE, Savoy Place, London, 2000.
- [2] P.W. Wheeler, J.C. Clare, L. Empringham, M. Bland, K.G. Kerris, "Matrix converters", *Industry Applications Magazine, IEEE*, Volume: 10, Issue: 1, Pages:59 - 65, 2004, Jan-Feb.
- [3] S. Palanivel, P. Srinivas and V.T. Ranganathan, "A new rotor time constant adaptation method for a VSI fed indirect field oriented induction motor drive", *Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1996.*, Proceedings of the 1996 International Conference on P.E.,1, vol.1, Pages: 222- 228, .1996, January.
- [4] S.-C. Chang, S.-N. Yeh, "Current sensorless field-oriented control of induction motors", *Electric Power Applications, IEEE Proceedings 143*, Pages: 492 - 500, 1996, November.
- [5] R. Bojoi, M. Lazzari, F. Profumo and A. Tenconi, "Digital field oriented control for dual three-phase induction motor drives", *Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the IEEE 2*, vol. 2, Pages:818 - 825, 2003, October.
- [6] J.R.Espinoza, G. Joos, "A current-source inverter fed induction motor drive system with reduced losses", *Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95.*, *Conference Record of the 1995 IEEE 1*, vol.1, Pages:45 - 52, 1995, October.
- [7] A. Zuckerberger, D. Weinstock, A. Alexandrovitz, "Simulation of three-phase loaded matrix onverter", *Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol. 143*, Issue: 4, Pages:294 - 300, 1996, July.