

마이크로 프로세서에 의한 가변속 유도전동기의 새로운 PWM 제어법

吳性寶 · 金一煥*

A new PWM Control Method for the Variable Speed Control of Induction Motor used Microprocessor

Oh Sung-bo, Kim Eel-hwan

Summary

A new speed control approach for ac motor drives which uses programmed PWM Switching pattern over the complete range of output speed is presented.

The proposed scheme provides smooth operation during the required Switching pattern changing transitions and gurantess high quality output voltage and current in the ac motor load, therefore, most suitable for high performance, high efficiency applications. A detailed description of the scheme along with the realization aspect is described. Experimental investigation on a variable drive system illustrate the predicted advantages of the proposed scheme.

序 論

최근 전력용 반도체 기술과 전력제어 기술의 실용적인 면에서 획기적인 발달은 가변속 ac 구동 System에서 hardware적인 면을 대폭적으로 줄일 수 있고 또한 제어성능을 아주 높일 수 있다. 이와같

이 할 수 있는 방법중에서 가장 대표적인 것이 microprocessor를 이용한 발달된 Software PWM 기술이다. 이 기술은 가변속 ac 모터제어에서 아주 고특성을 얻을 수 있다. 그 이유는 다양한 PWM pattern을 가지고 가장 효율적인 제어를 할 수 있기 때문인데 이러한 제어를 하였을 경우

① 전압 고조파를 줄이고 ② 모터에 최소 손실과 torque 맥동 및 발생 Noise를 대폭적으로 줄일 수

理工大學 專任講師, *中央大學校 大學院 博士課程

있다. 더구나 미리 계산된 최적화 PWM pattern의 사용은 ON-Line 계산을 피하고 곧바로 실행시킴으로 실시간 제어가 가능하게 된다. 여기서 고조파 제거 기술, 즉 몇개 저차 고조파를 선택적으로 제거될 수 있다. 이 때문에 고조파에 의해서 야기되는 인버터의 스위칭 손실을 줄일 수 있고 정류기 입력전압과 인버터 출력 전압사이의 gain은 거의 0.98에 가깝게 되고 출력 전류의 고특성 때문에 dc link 전류에서 리플은 매우 작아진다. 그러나 이러한 기술의 응용에서 실질적인 제한 요건을 갖는데 출력 주파수 범위가 제한된다는 것이다. 뿐만아니라 저출력 주파수에서 좋은 특성의 선전류를 위해서 많은 스위칭 각이 기억하게끔 충분한 memory 공간이 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 1주기당 PWM 펄스수를 20개, 36개, 52개, 84개, 124개, 197개의 경우를 보이고 또한 주파수 변환시 각각의 전류파형과 torque파형을 보이고자 한다.

研究方法

1. 제어이론

유도전동기의 가변속 운전을 위한 인버터의 선간 전압은 구형파로 출력된다. 따라서 인버터의 구형파 출력은 고조파 성분을 내포하고 있는데 발생된 구형파 대칭 PWM 스위칭 패턴의 푸리에 급수 계수는 (1)에 의해 주어진다.

$$a_n = \frac{4}{n\pi} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \cdot \cos n\alpha_k \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$b_n = 0 \dots\dots\dots (2)$$

순간적인 전압제어를 갖는 고조파 제거 방법을 위한 비선형 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} -2\cos\alpha_1 & 2\cos\alpha_2 & -2\cos\alpha_3 & \dots\dots(-1)^N \cos\alpha_N \\ -2\cos5\alpha_1 & 2\cos5\alpha_2 & -2\cos5\alpha_3 & \dots\dots(-1)^N \cos5\alpha_N \\ -2\cos7\alpha_1 & 2\cos7\alpha_2 & -2\cos7\alpha_3 & \dots\dots(-1)^N \cos7\alpha_N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -2\cos(3N-2)\alpha_1 & 2\cos(3N-2)\alpha_2 & -2\cos(3N-2)\alpha_3 & \dots\dots(-1)^N \cos(3N-2)\alpha_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2\pi M}{4} - 1 \\ -1 \\ -1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ -1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

단, N은 3보다 큰 홀수 M: 변조지수

주조조파 성분 'D'는 다음과 같이 N이 조건에서 나타내질 수 있다.

$$D=3N+2 \dots\dots\dots (4)$$

주조조파 성분의 주파수는

$$f_D = (3N+2)f \dots\dots\dots (5)$$

로 주어진다. 따라서 고조파제거 방법을 사용하여 PU당 0.05까지 속도 범위를 확장시키기 위해 그리고 $1\text{KHz} < f_D < 1.5\text{KHz}$ 을 제안하기 위해 요구되는 숫자 N은 111과 같다. 가령 110차고조파까지 제거하기 위한 반주기당 PWM pulse수는 111과 같다. 이에 대한 것을 fig.1과 같이 나타낼 수 있다.

이 뜻은 식(3)에서 α_N 값을 구하여야 한다. 이 α_N 값을 가지고 fig.2와 같이 PWM 파형을 갖는 data를 가지고 PWM 파형을 발생하도록 program을

짜야 한다. 이 프로그램을 짜는 과정에서 각 주파수 입력 지령에 따라 그 주파수에 가장 최적인 PWM pulse수를 발생하도록 하여야 한다. 이에 대한 mode change block도는 fig. 3과 같다.

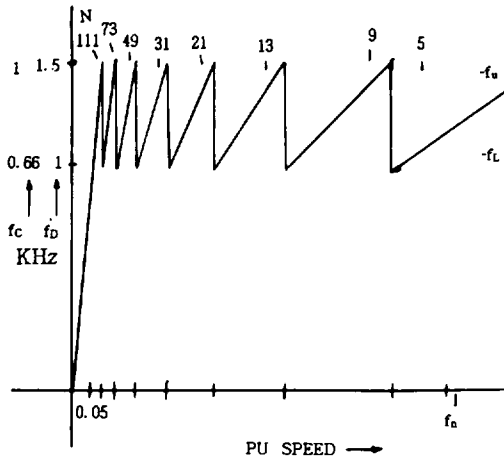


Fig. 1. Variation of inverter switching frequency (fc) and dominant harmonic component (fd) vs PU speed.

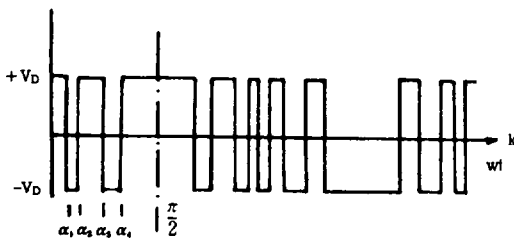


Fig. 2. PWM inverter output waveform.

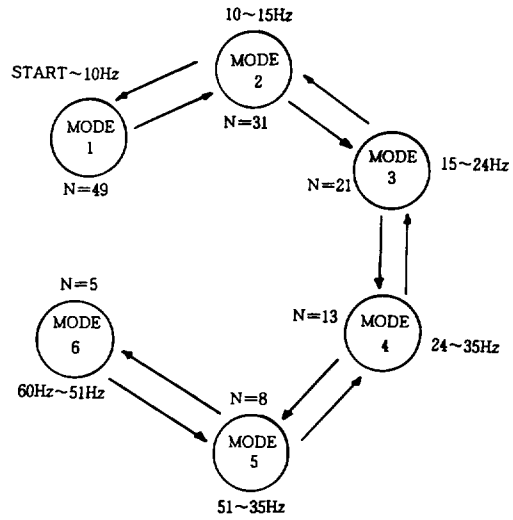


Fig. 3. Variation of inverter frequency.

實驗方法

1. 제어 프로그램

이 프로그램은 전동기가 입력 주파수 지령에 따라 Mode Selection를 행한다. 즉 입력지령은 Dip SW를 가지고 16bit로 이루어 진다. 즉 Mode 1에서 Mode 5까지 있는데 가장 최적인 모드 즉 주파수대 별로 PWM pulse수를 발생하도록 되어있다. 이에 flowchart는 fig. 4와 같고 제어프로그램은 Table. 1과 같다.

```

;*****;
; A NEW PWM CONTROL PROGRAM FOR IND MOTOR ;
;*****;
;8255(U31) - A:FRG.INPUT B:OUTPUT
;8255(U32) - A:ENC.INPUT
;PWM ADATA - 200H - 2A0H
;PWM BDATA - 400H - 5A0H
;PWM CDATA - 600H - 8A0H
;PWM DDATA - 900H - 0CE0H
;PWM EDATA - 0D00H -1220H
    
```

```

MAIN SEGMENT
    ASSUME CS:MAIN, DS:MAIN

    MOV AX,CS
    MOV DS,AX

    ORG 100H

DRIVE EQU 1AH
FRQCY EQU 18H
CONT1 EQU 1EH
CONT2 EQU 3EH
ENCOD EQU 38H

;
START:
    MOV AX,9090H
    OUT CONT1,AX
    MOV AX,9090H
    OUT CONT2,AX
    MOV DL,00H
    MOV CL,04H
LOOP1: IN AX,FRQCY
    MOV BX,000FH
    CMP AX,BX
    JB MODE1 ;FRQCY = 51 - 60 HZ
    MOV BX,00F0H
    CMP AX,BX
    JB MODE2 ;FRQCY = 24 - 50 HZ
    MOV BX,00FFH
    CMP AX,BX
    JB MODE3 ;FRQCY = 15 - 23 HZ
    MOV BX,0F00H
    CMP AX,BX
    JB MODE4 ;FRQCY = 10 - 14 HZ
    JMP MODE5 ;FRQCY = 0 - 9 HZ
MODE1: ;PWM PN=20
    MOV BX,OFFSET ADATA
    MOV SI,0A0H
    JMP LOOP2
MODE2: ;PWM PN=52
    MOV BX,OFFSET BDATA
    MOV SI,1A0H
    JMP LOOP2
MODE3: ;PWM PN=84
    MOV BX,OFFSET CDATA
    MOV SI,2A0H
    JMP LOOP2

```

```

MODE4:                                     ;PWM FN=124
      MOV BX,OFFSET DDATA
      MOV SI,3E0H
      JMP LOOP2
MODE5:                                     ;PWM FN=196
      MOV BX,OFFSET EDATA
      MOV SI,620H
      JMP LOOP2
LOOP2:
      MOV AL,DL
      MOV DL,[BX+SI]
      AND AL,DL
      OUT DRIVE,AL
      MOV AL,DL
      OUT DRIVE,AL
      DEC SI
      MOV AL,[BX+SI]
LOOP3:
      DEC AL
      JNZ LOOP3
      DEC CL
      JNZ NEW
      MOV CL,04H
      IN AX,FRQCY
LOOP4:
      DEC AX
      JNZ LOOP4
NEW:
      DEC SI
      JZ RETURN
      JMP LOOP2
RETURN:
      JMP LOOP1
    
```

Table 1. 제어 프로그램

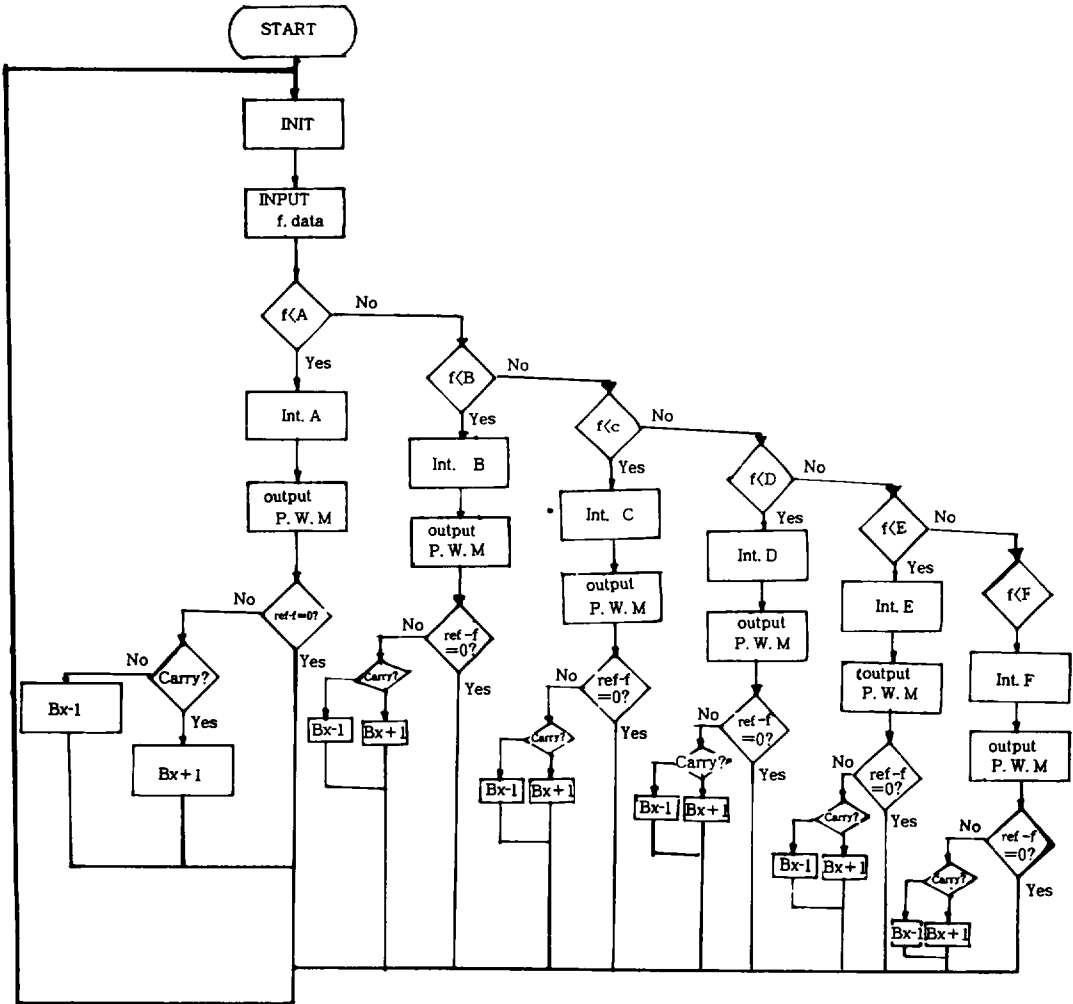


Fig. 4. Flowchart of control program.

結果 및 考察

제안된 제어방법을 이용하여 유도전동기를 구동하였을 때의 전압, 전류, 고조파성분 파형, torque 파형등이 fig. 5, fig. 6, fig. 7, fig. 8, fig. 9, fig. 10, fig. 11, fig. 12, fig. 13 등에 나타나 있다.

따라서 본 연구에서 제안된 System을 이용해서 산업현장에서의 가변속 유도 전동기를 구동하였을 경우 종래의 일반적인 구동방법보다 양호한 구동 특성을 얻을 수 있었다. 유도 전동기 구동에 의한 고조파 발생을 원천적으로 제거할 수 있어 고조파에 의한 모터의 손실과 장음을 줄일 수 있는 새로운 PWM 제어 방법으로 생각되어 진다.

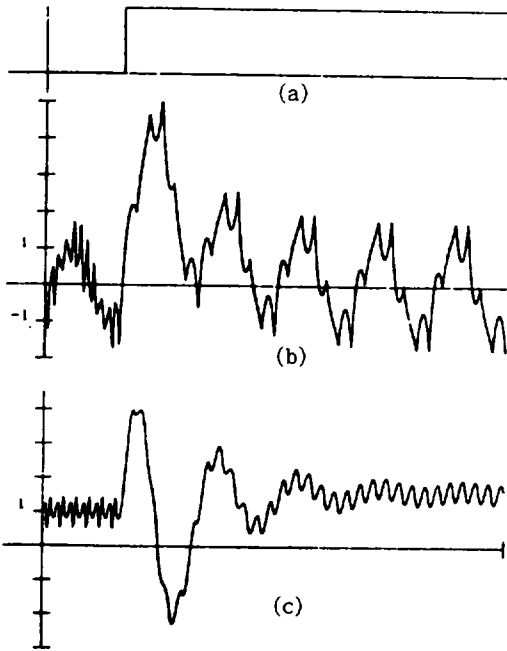


Fig. 5. Computed transient behaviour of the induction motor for a mode change from sine PWM to programmed PWM (N=3)
 (a) Instant of occurrence of mode change,
 (b) Line current i_a ,
 (c) Developed torque

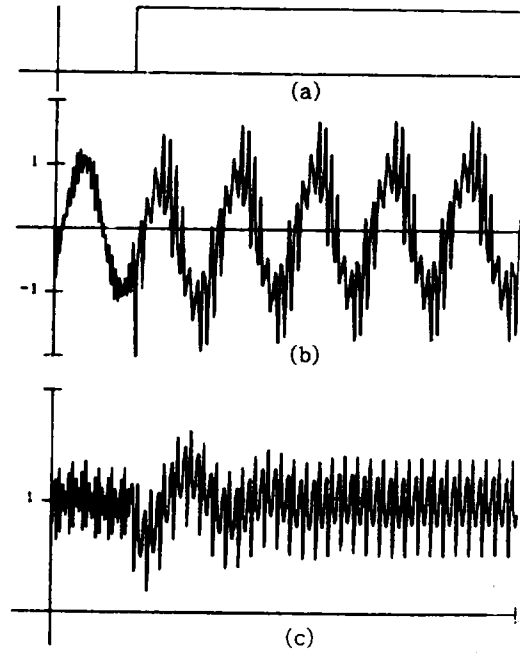


Fig. 6. Computed transient behaviour of the induction motor for a mode change from programmed PWM (N=3) quasi square wave operation.
 (a) Instant of occurrence of mode change
 (b) Line current i_a
 (c) Developed torque

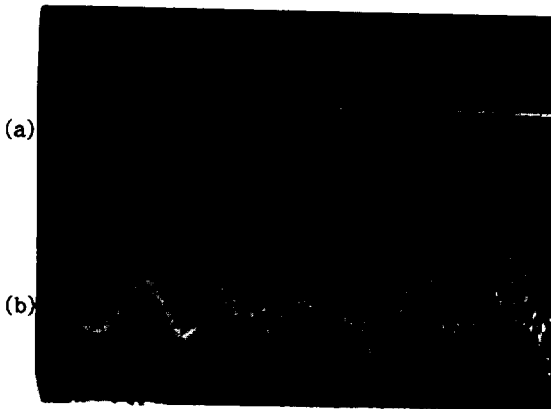


Fig. 7. Experimental transient response of the induction motor drive for a mode change from sine PWM to programmed PWM (N=3)
 (a) Instant of occurrence of mode change
 (b) Line current i_a

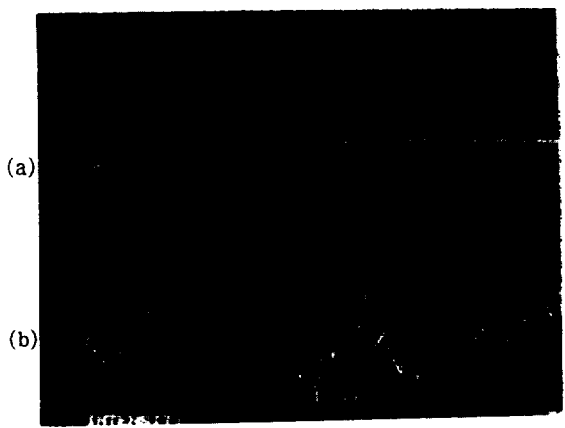


Fig. 8. Experimental transient response of the induction motor drive for a mode change from programmed PWM ($N=3$) to quasi square wave
 (a) Instant of occurrence of mode change
 (b) Line current i_a

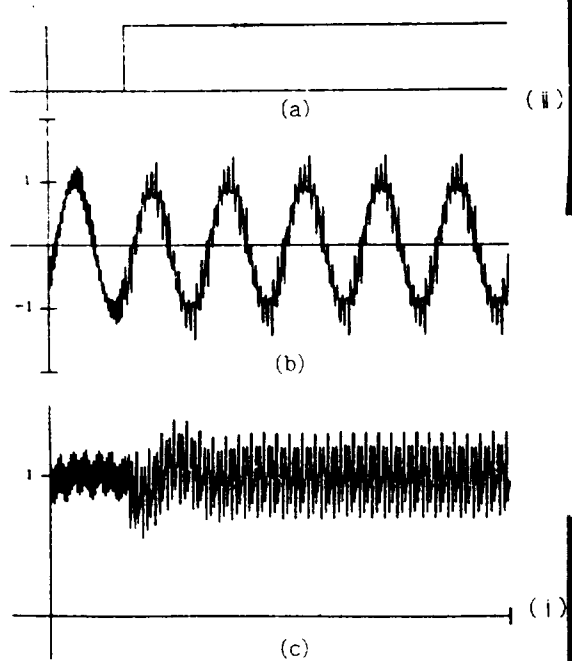


Fig. 9. Computed transient behaviour of the induction motor for a mode change from programmed PWM $N=9$ to $N=5$
 (a) Instant of occurrence of mode change
 (b) Line current i_a
 (c) Developed torque

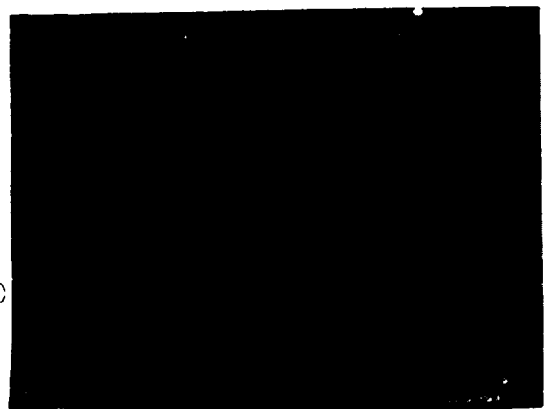
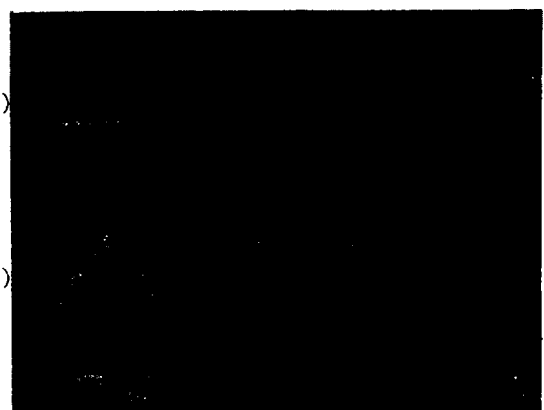


Fig. 10. Experimental transient response the induction motor for a mode change within the programmed PWM change
 (a) $N=31$ to $N=21$ at $f=15\text{Hz}$
 (b) $N=9$ to $N=5$ at $f=51\text{Hz}$



(b)

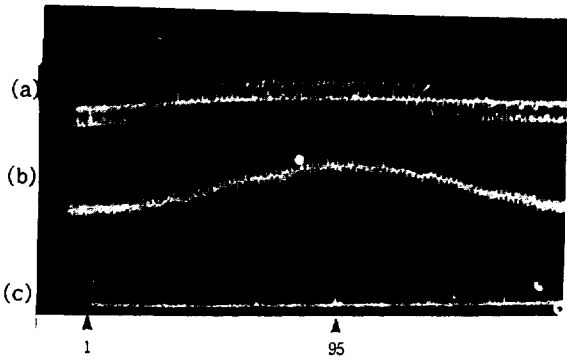


Fig. 11. Steady state operation of the induction motor on the programme PWM scheme N=31 (eliminating 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 55, 59, 61, 65, 67, 71, 73, 77, 79, 83, 85, 89, 91 harmonics at M=0.25) at f=15Hz
 (a) Line to line voltage ($V_{ab}=60$ Vrms)
 (b) Line current $i_a(6A)$
 (c) Frequency Spectrum of (a)

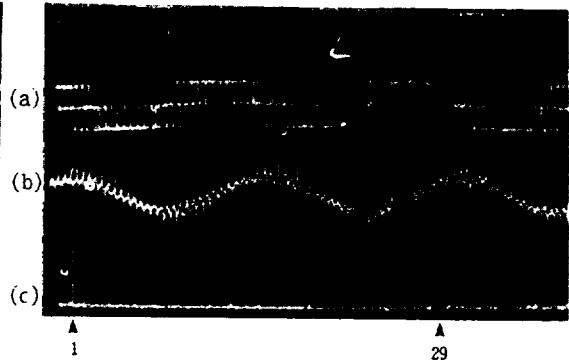


Fig. 12. Steady state operation of the induction motor on the programmed PWM scheme N=9 (eliminating 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, harmonics at M=0.85) at f=15Hz
 (a) Line to line voltage ($V_{ab}=60$ Vrms)
 (b) Line current $i_a(6A)$
 (c) Frequency Spectrum of (a)

摘 要

본 연구에서는 전 주파수 범위하에서 프로그램화된 PWM Switching Pattern을 사용하여 ac motor 구동의 속도 조절에 대한 새로운 방법이 나타내졌다.

다. 유도 모터에 대한 Simulation한 값과 실험치는 제안된 체계의 예견된 장점을 나타낸다. 계산한 것과 실험 결과는 프로그램화된 PWM 체계내에 특별한 패턴 변화 동안에 전류 순간 부재를 확인했다. 제안된 체계는 유도모터 부하에서 고특성 출력 전압과 전류를 주어지므로 고성능 고효율 응용에 적합하다.

引 用 文 獻

Starr, B. G. and J. C. I. van Loon, 1980. "LSI Circuit for ac motor speed control". IAS. Electronic components and applications, 346-351.

Patel, H. S. and R. G. Hoft, 1973. "Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters-Part 1. Harmonic elimination", IEEE

- Trans. Ind. Appl., IA-9, 310-317.
- Takahashi, I. and T. H. Mochikawa, 1985. "A new control of PWM inverter waveform for minimum loss operation of an induction motor drive", IEEE Trans. Ind. IA-21(4) 580-587.
- Takahashi, I. and T. Noguchi, 1986. "Optimum PWM inverter waveforms of an inverter for decreasing acoustic noise of an induction motor", IEEE Trans. Ind. Appl., IA-22(5) 828-834.
- B. G. Starr and J. C. F. Van Loon, 1980. "LSI Circuit for ac motor Speed Control", Electronic Components and Applications, 2(4), Aug.
- H. s. Patel and R. G. Hoft, 1973. "Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters-Part 1. Harmonic elimination", IEEE Trans. Ind. Appl., IA-9, 310-317, May/June.
- I. Takahashi and T. H. Mochikawa, 1985. "A new control of PWM inverter waveform for minimum loss operation of an induction motor drive", IEEE Trans. Ind. Appl., IA-21(4), 580-587, May/June.
- I. Takahashi and T. Noguchi, 1986. "Optimum PWM inverter waveforms of an inverter for decreasing acoustic noise of an induction motor", IEEE Trans. Ind. appl., IA-22(5), pp. 828-84.
- 見城尚志, 1981, 少形モータ基礎とマイコン制御, 第7巻, 統合電子出版社.