

PWM INVERTER에 의한 3상 유도전동기 동작특성 해석

The performance characteristic of 3 phase I.M by PWM Inverter.

이운종
서기영
정동화
김성택*

한양대학교

1 서론

PWM Inverter는 출력단의 전압 및 주파수를 각각 제어할 수 있고 고조파의 영향을 저감시킬수 있는 장점때문에 일반 산업계에 널리 응용되고 있으며, 이러한 추세는 고속 스위칭 소자의 개발과 제어기의 발달로 앞으로도 계속될 전망이다. < 1 >

PWM Inverter로 실제 유도전동기를 운전할 경우 유도전동기의 동작상태를 정확히 예측할 수 있어야만 정밀한 제어 목적의 구성이 가능하다.

이전의 해석방법은 PWM 전압파형이 전동기에 공급되어질 때 일정주파수에서 전동기 전류와 전기적 토오크의 과도 및 정상상태를 해석하였다. < 2 - 3 > 그러나 가변속전동기일 경우에는 "V/F = Constant"를 변화시키면서 넓은 범위에서 운전해야 한다.

PWM방식에 의한 인버터 구동시 한주기당 펄스수가 많을수록 고조파가 감소되므로 Inverter가 단위시간에 출력할수 있는 펄스의 수는 소자의 Turn on time이나 제어가 능력때문에 한계가 있다. 그러므로 유도전동기를 운전할 때에는 저속 및 고속일 때의 펄스의 수를 변화하면서 가장 손실이 적은 상태로 운전하는 것이 바람직하다. < 4 >

본 연구는 PWM Inverter로 3상 유도전동기를 운전할 때 입력의 여러 조건에 대한 전동기의 동작특성을 해석함으로써 가장 효율적으로 전동기를 운전할 수 있는 제어 목적 구성의 가능성을 예측할 수 있었다.

2 유도전동기 동작 해석

그림 1에서 나타난 유도전동기의 일반적인 속도제어 장치로는 60Hz AC Motor

를 정류하여 다시 가변주파수의 공급원으로 변환시키는 전력 Inverter이며 L1과 K 전압을 일정하게 유지하면서 동작하는 전압인버터의 블록 다이어그램을 나타낸다.

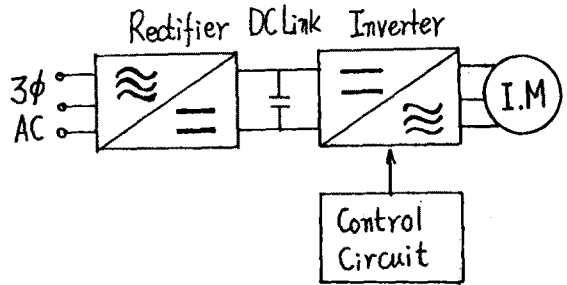


그림 1. 전압인 인버터의 블록 다이어그램

본 연구는 PWM 전압파형이 전동기 단자에 공급될때 유도전동기 과도 및 정상상태 동작이 2축 이론으로 해석될 수 있다. 해석을 쉽게하기 위해서 다음과 같이 가정한다.

- 1. 철심은 포화되지 않고
- 2. 공극이 균일하며 공극 자속분포는 정현적이다.
- 3. 철손은 무시한다.

고정자가 고정된 속으로 가정하면 W가 0이 되며 일반적 2축 기계모델에 대한 방정식은 다음과 같다. < 3 >

$$V = Ri + Xpi + Gi = Xpi + (R + G)i \quad (1)$$

여기서

$$V = [Vds, Vqs, Var, Vgr]^T$$
$$i = [ids, iqs, idr, igr]^T$$

$$X = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_M \\ L_M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & L_M & 0 & L_r \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_M \omega_r & 0 & L_r \omega_r \\ -L_M \omega_r & 0 & -L_r \omega_r & 0 \end{bmatrix}$$

$$R+G = \begin{bmatrix} \gamma_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_s & 0 & 0 \\ 0 & L_M \omega_r & \gamma_r & L_r \omega_r \\ -L_M \omega_r & 0 & -L_r \omega_r & \gamma_r \end{bmatrix}$$

자속 Leakage ψ 를 전류에 의해서 표현하면 다음과 같다.

$$\psi = L i \quad (2)$$

여기서 $\psi = [\psi_{ds}, \psi_{qs}, \psi_{dr}, \psi_{qr}]^T$ 이므로 전류와 전압은 다음 식과 같다.

$$\dot{i} = L^{-1} \psi \quad (3)$$

$$V = R X^{-1} + p X X^{-1} \psi + G X^{-1} \psi \\ = p \psi + F \psi \quad (4)$$

$$F = [R+G] L^{-1} = \begin{bmatrix} X_s & 0 & X_M & 0 \\ 0 & X_s & 0 & X_{SM} \\ X_{rM} & 0 & X_r & \omega_r \\ 0 & X_{rM} & -\omega_r & X_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서

$$X_s = \gamma_s L_r / (L_s L_r - L_M^2)$$

$$X_r = \gamma_s L_s / (L_s L_r - L_M^2)$$

$$X_{SM} = -\gamma_s L_M / (L_s L_r - L_M^2)$$

$$X_{rM} = -\gamma_r L_M / (L_s L_r - L_M^2)$$

식(4)를 정의하면 다음과 같다.

$$p \psi = V - F \psi \quad (6)$$

전기적 토오크는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$T_e = \phi_{qr} i_{dr} - \phi_{dr} i_{qr} \\ = \frac{L_M}{L_s L_r - L_M^2} (\phi_{qs} \phi_{dr} - \phi_{ds} \phi_{qr}) \quad (11)$$

그리고 회전자 속도는 다음식에서 구할 수 있다.

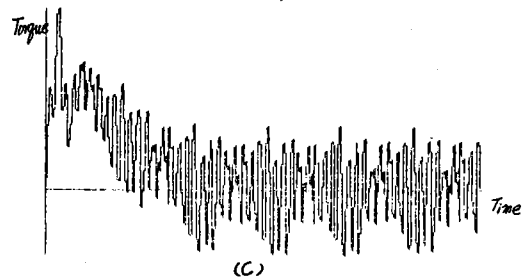
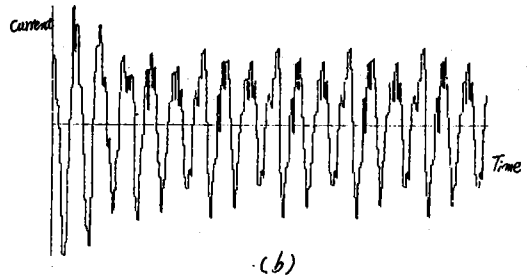
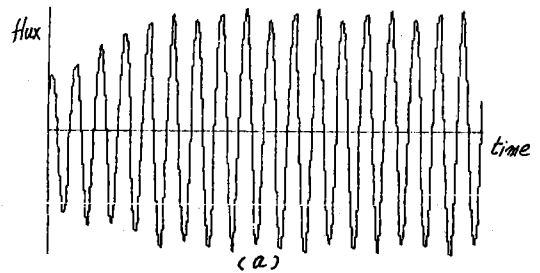
$$\frac{d\omega_r}{dt} = (T_e - T_m) / J \quad (8)$$

식(6), 식(3), 식(7) 및 식(8)로부터 전동기 운전특성 값들을 쉽게 구할 수 있다. 본 연구에서 모델로 선정된 유도전동기 상수는 다음과 같다.

표. 유도전동기 상수

| 상수 | 값 | 상수 | 값 |
|----------------|--------------------------------|----------------|---------|
| V | 300 V | R _s | 0.642 Ω |
| J | 0.003 kg·m ² | R _r | 0.637 Ω |
| B | 0.0001 N·m·sec/ _{rad} | FR | 15 |
| L _s | 0.682 mH | MD | 0.9 |
| L _r | 0.682 mH | t | 0~3 sec |
| L _M | 0.656 mH | | |

3상 유도전동기 동작 해석에서 MD=0.9, FR=15인 Natural PWM 방식에 의해 3sec 동안 나타난 결과는 그림 2와 같다.



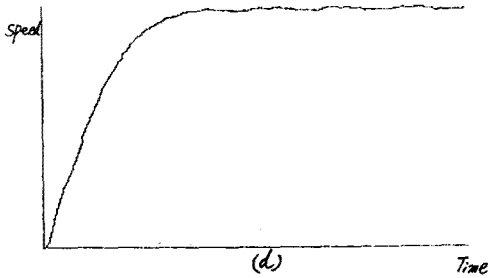


그림 2. 동작해석 결과 (MD=0.9, FR=15, Natural PWM)
(a) Flux (b) Current (c) Torque (d) Speed

3 결 론

본 연구에서는 PWM Inverter로 3상 유도전동기를 운전할 때 입력의 여러 조건에 대한 전동기의 동작 특성을 상세히 해석하였다.

동작 특성을 해석하기 위해 2축 모델을 사용하였으며 시스템을 실험하고 수정하기 전에 전동기 동작 특성을 예측함으로써 Inverter 등 소자의 정격을 알 수 있으며 전동기를 효율적으로 운전할 수 있는 정밀한 제어 로직구성이 가능하도록 하였다.

참고 문헌

<1> S.R.BOWES. ; 'Digital Computer Simulation of Variable Speed PWM Inverter-machine drives'. IEE Proc., 1983, 130 (3), pp 149-160.

<2> KRAUSE, P.C. and THOMAS, C.H. ; 'Simulation of Symmetrical Induction Machinery'. IEEE Trans., 1965, PAS-84, pp 1038-1053.

<3> 이운종, 정동화, 김경환. ; 'PWM Inverter로 구동되는 유도전동기 동작해석'. 대한전기학회, 1984 하계 학술연구 발표회 논문 초록집, 전력전자 분야.

<4> 이운종, 정동화, 김홍명. ; 'Optimal PWM Inverter로 제어되는 유도전동기의 운전에 관한 연구'. 대한전기학회, 1985 하계 학술연구 발표회 논문 초록집, 전력전자 분야.