

플라이휠장치를 갖는 유도전동기의 2차 여자를 이용한 계통의 전력보상기법

김윤호 · 이경훈 · 박경수

중앙대학교 전자전기공학부 전력전자 연구실

Power Control Techniques Using Secondary Excitation of Wound Rotor Induction Motor With Flywheel

Yoon-Ho Kim, Kyung-Hun Lee and Kyung-Soo Park

Power Electronics Lab, School of Electronic and Electrical Engineering, Chung-Ang University

요 약

최근 산업계에서 급증하는 펄스성 전력수요와 부하의 다양화는 전원의 안정도에 악영향을 미치고 있다. 이는 전압강하나 역률 저하 유/무효 전력의 변동을 초래하고 타부하에 영향을 미치게 되므로 이를 효과적으로 보상할 수 있는 종합적인 보상 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 전력보상 시스템중의 하나로서 플라이휠을 장착한 권선형 유도기의 2차 여자방식을 제시한다. 본 시스템은 전동기 2차 여자방식을 이용함으로써 기존의 정지형 보상기에 비하여 인버터의 용량을 기존의 것보다 수배 감소시킬 수 있는 장점이 있으며 히스테리시스 전류제어기를 사용하여 직접전류 제어방식을 이용하므로 기존의 시스템과 비교하여 PI제어기의 게인선정의 어려움을 극복하고 제어 알고리즘을 간략화 할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 전력을 보상하기 위한 에너지 저장요소로 플라이휠의 관성에너지를 사용함으로써 기존의 배터리 방식의 무정전 전원공급장치를 대신하는 효과를 보인다. 설계된 시스템과 제어방식은 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

Abstract — Recently, increase of pulsed power demand and variance of load produce bad effect to power network system. This causes PF (power factor) decrease and active/reactive power variation to the industry loads. Thus, it needs a synthetic compensation system to solve such problems. This paper describes the excitation of secondary side of WRIM (wound rotor induction motor) as one of the power compensation systems. The designed system has a advantage of decreasing the capacity of inverter compared to static power compensator because of secondary excitation of motor and it is possible to control the system easily with hysteresis current controller. Thus, it is not necessary to choose the suitable gain of PI controller compared to conventional system. Also, it has merit that the conventional UPS (uninterruptible power supply) system using battery can be substituted by the system using flywheel as an energy storage device. The designed system and control scheme are verified by computer simulation.

1. 서 론

전력계통의 규모확대, 장거리송전선의 증가에 따라, 송변전계통에 있어서 고성능의 안정도 향상대책이 요구되고 있다. 이는 종래의 중간조상설비에 의한 전압, 무효전력의 제어만으로는 불충분하고, 유효, 무효전력의 동시제어에 의한 안정도향상대책이 필요함을 의미한다. 또한 최근에는 산업계에서 산업규모의 확대 및 자기부상식 철도, 핵융합 실험장치 등 새로운 전력응용분야가 확

대되면서 계통의 동요를 일으키는 펄스성 전력 수요가 증가하고 있는 추세이다. 특히, 전력공급의 고신뢰라고 하는 관점에서 보면 계통고장에 따른 순시정전, 순시전압강하등에 대한 대책도 필요하다^{[1][2]}. 따라서 본 논문에서는 전원에서 야기되는 주파수와 전압의 급격한 변동, 그리고 이로 인한 전력의 질적 저하를 장해전력이라 지칭하고, 장해 전력보상 시스템의 한 형태로서, 최근에 활발하게 연구가 진행되고 있는 회전기 및 플라이휠로 구성된 에너지 저장시스템에, 전류제어형의 PWM

(pulse width modulation) 인버터를 병용(併用)하여 순시 제어가 가능한 시스템을 설계하였다.

본 시스템은 인버터의 고속제어성을 활용하여 전원전류의 파형 제어가 가능하게 하고 동시에 유효, 무효전력의 동시제어가 가능하도록 하였다. 또 플라이휠에 의한 에너지 저장은 전동기 회전시 관성에너지를 축적하여 이 에너지를 전기적 에너지로 다시 환원하기 때문에 대응량화가 쉽고 경제적으로도 가격이 저렴하게 실현할 수 있는 이점이 있다. 더욱이, 본 시스템은 회전기의 2차 여자에 의한 1차전류의 제어를 하기 때문에, 그 구성상 종래의 인버터를 이용한 정지형 무효전력 보상장치에 비교해서, 그 변환기용량을 저감하는 것이 가능하다 는 특징이 있다.

2. 장애전력 보상시스템의 구성

본 논문에서 설계하는 장애전력 보상시스템의 전체 구성도는 Fig. 1과 같다. 본 논문에서는 에너지 저장요소인 플라이휠이 연결된 권선형 유도전동기를 부하사이에 병렬로 삽입한 형태를 갖추고 있다. 그리고 회전기의 1차측이 직접 전원측에 연결되어 있다. 유도 전동기는 2차측에 다른 전원을 인가 할 수 있는 전동기/발전기(M/G) 형을 사용한다. 그리고 계통에 장애전력을 발생시키는 변동 부하로는 3상 다이오드 정류기를 사용하여 고조파와 무효전력을 발생시키도록 한다. 회전기의 2차측은 히스테리시스 PWM 방식을 사용하여 인버터를 통한 2차전류제어를 하였다. 인버터의 전압원은 전원측과 접속된 컨버터에 의하여 생성되는 직류전원을 사용한다. 실제시스템에 있어서는 이 컨버터도 3상 다이오드 정류부하와 마찬가지로 전원측에 고조파를 발생시키는 부하인 역할을 한다. 제어부의 입력변수들은 부하전류, 회전기의 1차측 전압, 회전기 속도 그리고 전원측 전류의 기준 값들이다. 이 입력변수에 대한 제어부의 출력변수는

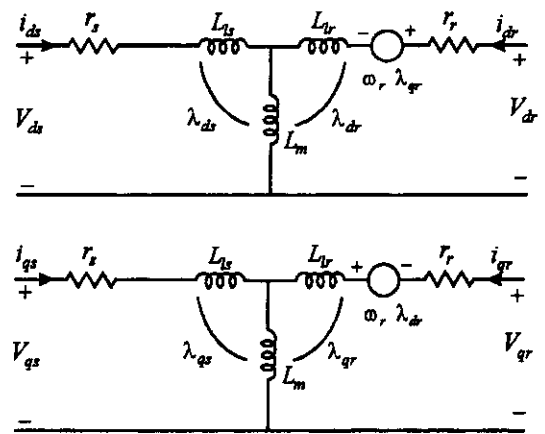


Fig. 2. Stationary D, Q model of wound rotor induction motor.

회전기 2차측 전류의 기준 값이다. 이 값과 회전기 2차측의 실제전류가 히스테리시스 전류제어형 인버터에 의하여 최종적으로 회전기의 2차측을 여자 시키는 전압을 생성한다. 이와 같이 본 보상시스템에서는 회전기의 2차측 여자를 통하여 1차전류를 제어하고 제어된 1차전류에 의하여 부하원과 접속된 전원의 장애전력을 보상하게 된다.

3. 권선형 유도기의 1차측 제어 원리

3-1. 권선형 유도기의 모델링

권선형 유도전동기를 디지털 컴퓨터로 시뮬레이션 할 경우에는 전동기를 Fig. 2와 같이 정지형 d, q 등가모델로 표현하는 것이 바람직하다. 일반적인 농형 전동기와 비교하여 2차측에 전압원이 인가됨 점이 다르다. 자속과 전압, 전류 그리고 토크 방정식은 다음과 같다[6][7].

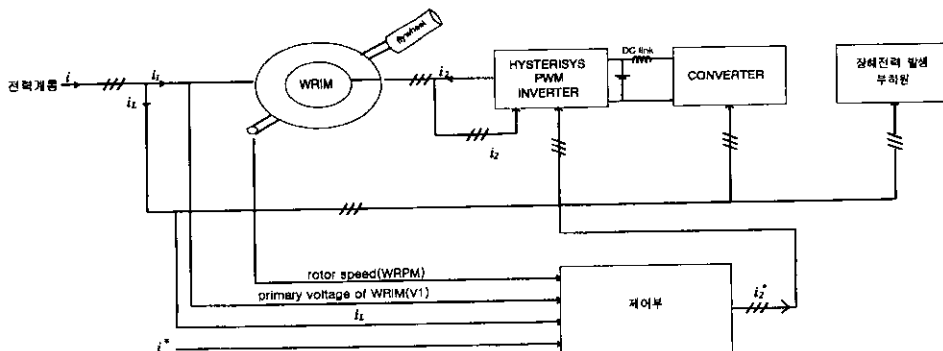


Fig. 1. Overall system configuration.

$$V_{ds} = r_s i_{ds} + p\lambda_{ds} \tag{1}$$

$$V_{qs} = r_s i_{qs} + p\lambda_{qs} \tag{2}$$

$$V_{dr} = r_r i_{dr} + p\lambda_{dr} - \omega \lambda_{qr} \tag{3}$$

$$v_r = r_r i_{qr} + p\lambda_{qr} + \omega \lambda_{dr} \tag{4}$$

$$\lambda_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \tag{5}$$

$$\lambda_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \tag{6}$$

$$\lambda_{dr} = L_m i_{ds} + L_r i_{dr} \tag{7}$$

$$\lambda_{qr} = L_m i_{qs} + L_r i_{qr} \tag{8}$$

$$T_c = \frac{3PL_m}{22L_r} (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds}) \tag{9}$$

단, 여기서 $L_s = L_{ls} + L_m$, $L_r = L_{lr} + L_m$, P 는 극수이다.

3-2. 회전기 1차측 전류벡터의 제어원리

지금 각상의 회전기 1차전압, 1차전류의 순시값을 v_{1a} , v_{1b} , v_{1c} , i_{1a} , i_{1b} , i_{1c} 로 하고, 또한 각상의 2차전압, 2차전류의 순시값을 각각 v_{2a} , v_{2b} , v_{2c} , i_{2a} , i_{2b} , i_{2c} 로 하면 각 전압, 전류의 순시값 벡터는 다음과 같이 정의된다.

$$v_1 = \sqrt{2/3} (v_{1a} + v_{1b} e^{j2\pi/3} + v_{1c} e^{j4\pi/3}) \tag{10}$$

$$i_1 = \sqrt{2/3} (i_{1a} + i_{1b} e^{j2\pi/3} + i_{1c} e^{j4\pi/3}) \tag{11}$$

$$v_2 = \sqrt{2/3} (v_{2a} + v_{2b} e^{j2\pi/3} + v_{2c} e^{j4\pi/3}) \tag{12}$$

$$i_2 = \sqrt{2/3} (i_{2a} + i_{2b} e^{j2\pi/3} + i_{2c} e^{j4\pi/3}) \tag{13}$$

이것들의 순시값벡터를 이용한 회전기의 전압, 전류방정식을 나타내면 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + pL_{11} & pM \\ (p-j\dot{\theta}_m)M & R_2 + (p-j\dot{\theta}_m)L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \tag{14}$$

여기에서

- R_1 : 1차권선저항
- R_2 : 2차권선저항
- L_{11} : 1차권선자기 인덕턴스
- L_{22} : 2차권선자기 인덕턴스
- M : 1차, 2차권선간 상호인덕턴스
- $\dot{\theta}_m$: 회전각속도
- $p=d/dt$ 한편, 회전기의 1차 쇠교자속벡터 ψ_1 은

$$\psi_1 = L_{11}i_1 + Mi_2 \tag{15}$$

와 같이 나타내어진다. 여기서, 1차여자분 전류벡터 i_0 를 다음 식과 같이 정의한다.

$$i_0 = \psi_1 / L_{11} = i_1 + (M/L_{11})i_2 \tag{16}$$

따라서, (14)식의 제 1행(行)번째는, (16)식을 이용하면

$$v_1 = R_1 i_1 + pL_{11}i_1 + pMi_2 = R_1 i_1 + pL_{11}i_0 \tag{17}$$

이 된다. 여기서 (14)식에 있어서 2차전압, 2차전류 벡터 v_2 , i_2 는, 고정자 좌표계(d-q 좌표계)에서 본 벡터이고, 실제로 회전하는 회전자 좌표계(α - β 좌표계)에서 본 2차전압, 2차전류벡터 v_2' , i_2' 와의 사이에는, 다음 식과 같은 관계가 성립한다.

$$v_2 = e^{j\theta_m} v_2' \tag{18}$$

$$i_2 = e^{j\theta_m} i_2' \tag{19}$$

한편, 본 조상시스템을 생각할 경우, 회전기 2차측에 접속된 전류제어형 PWM 인버터는, 일종의 가변 전류원으로 생각할 수 있다. 여기서 인버터의 전류지령값으로써, 다음과 같은 전류지령벡터 i_2^* 을 식(16)으로부터 생각할 수 있다.

$$i_2^* = e^{j\theta_m}(L_{11}/M)(i_0^* - i_1^*) \tag{20}$$

여기에서 i_0^* 는 여자분전류지령 벡터, i_1^* 는 1차전류지령 벡터를 나타낸다. 또 $e^{j\theta_m}$ 은 고정자 좌표계상의 전류벡터를 회전자 좌표계의 벡터에 좌표 변환하는 것을 의미한다. 따라서 (17), (19), (20)식의 관계로부터, 본 조상시스템은 Fig. 3에 나타나는 것처럼 시스템구성도로 표현하는 것이 가능하다. 지금 Fig. 3에 나타내는 PWM 인버터를 이상적인 가변전류원으로 가정하면, 그 전류지령벡터와 출력전류벡터 사이에는

$$i_2 = i_2^* \tag{21}$$

의 관계가 근사적으로 성립한다. 따라서, 제어계에 있어서 i_1^* , i_0^* 와 회전기에 있어서 i_1 , i_0 와의 사이에는, 다음의 관계가 성립한다.

$$i_0 - i_1 = i_0^* - i_1^* \tag{22}$$

여기서, i_0 는 1차전압벡터에 변동이 없다면 일정한 벡터가 되기 때문에, i_0^* 을 이 벡터와 동등하게 설정하면

$$i_1 = i_1^* \tag{23}$$

이 됨을 알 수 있다. 이는 회전기 1차전류를 회전기의 상태와는 관계없이, 그 지령 값에 따라서 제어하는 것이 가능하다는 것을 의미한다.

4. 주회로도 및 제어 알고리즘

Fig. 3은 모의시험을 위한 시스템의 주회로도와 제어

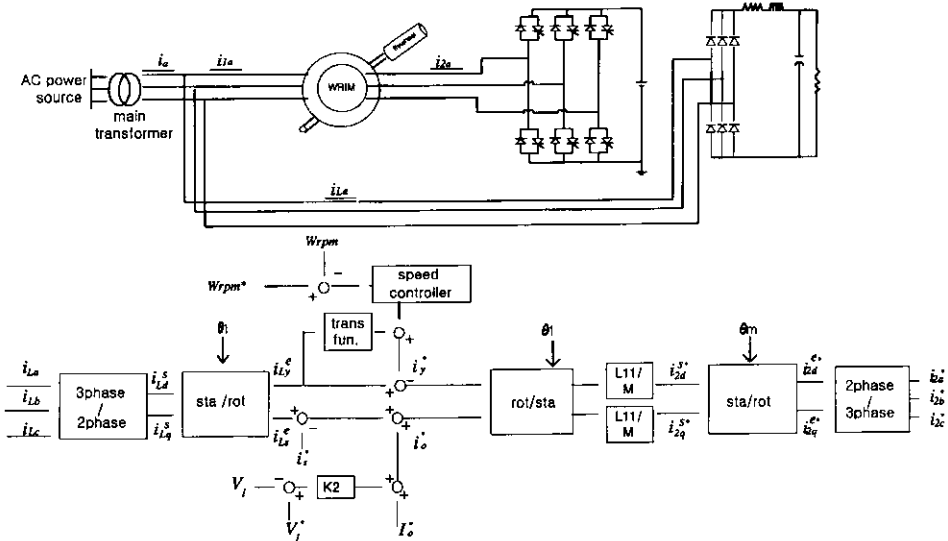


Fig. 3. Main circuit and control block diagram.

부를 상세히 나타낸 그림이다. Fig. 1의 시스템구성도와 같은 조건으로 설계하였으며 단, 컨버터와 DC link단이 이상적이라는 가정하에 인버터 전압원을 DC 전압원으로 근사하였으며 모터는 계통의 주변압기를 거쳐서 고정자에 전압이 인가되도록 설계하였다. 그림3의 제어블록 다이어그램에서는 고조파 발생과 역률 저하를 가져오는 부하전류를 각각 i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} 로 하고 벡터제어를 하기 위하여 유효분 전류(i_{Ld})와 무효분 전류(i_{Lq})로 분리하여 제어하였고 전원의 유/무효 전류기준값은 각각 i_d^* , i_q^* 로 표기하였다. 그리고 정지/동기, 혹은 동기/정지 등의 좌표 변환시 이용되는 θ_1 과 θ_m 은 각각 전원측의 위상각과 회전자의 회전위상각을 나타낸다. 전원측 위상각은 3상의 전원측 전압을 센싱하여 유,무효 전압성분으로 나눈후 \tan^{-1} (유효전압성분/무효전압성분)으로 구해지며, 회전자의 회전위상각은 전동기의 2차측전압과 전류로부터 자속을 계산하고 각각 유,무효 자속성분으로 나눈후 \tan^{-1} (유효자속성분/무효자속성분)으로 계산되어진다.

4-1. 역률보상 제어기법

본 시스템의 주목적은 전원측에 발생하는 장애요소를 효과적으로 보상하는데 그 목적이 있다. 부하의 급격한 변동에 따른 역률저하로인한 무효전력의 변동은 계통상에서 고려해야 하는 중요한 요소이다. 이를 적절히 보상해주므로써 전력계통의 운용효율을 증대시킬 수 있으며 양질의 전력송전이 가능해진다. 본 시스템에서는 이를 위하여 Fig. 3의 제어부에 나타난 것과 같이 계통상의 무효전류 기준값인 i_q^* 를 '0'으로 설정하므로써 가능

하다. 그 이유는 무효전력은 무효전류만의 영향을 받기 때문에 전원계통측의 무효전류 지령벡터값을 '0'으로 설정하면 전원측의 전류의 크기는 변하지 않으면서 그 위상이 변화하게 된다. 즉 그 지령치가 '0'일 경우에는 전압과 동상이 되므로 무효전류가 발생하지 않으며 역률은 1로 된다. 그리고 계통상의 무효전력이 감소되었을시 이를 적절히 보상하기 위해서는 반대로 i_q^* 를 적당한 값으로 설정하면 된다. 그리고 유효전력을 제어하기 위해서는 유효전력은 유효전류에만 기인하므로 이를 이용하여 계통의 유효전류지령벡터인 i_d^* 를 적절히 조절해 주므로써 가능하다. 이를 조절하게 되면 전원측의 전류의 위상은 변함이 없으나 그 크기가 바뀌므로 결국 유효전력의 크기가 조절된다. 이와 같이 본 시스템은 유, 무효 전력을 각각 독립적으로 제어할 수 있는 특성을 지닌다.

4-2. 무정전 시스템 제어기법

전력 공급의 중단을 방지하기 위하여 기존의 무정전 전원 공급장치인 UPS(uninterruptible power supply)는 배터리를 정상시에 충전하여 정전 발생시 부하의 전원으로 운용하는 방식을 사용했으나 설계된 시스템에서는 전동기와 직결된 플라이휠의 에너지 저장효과를 이용한다. 이는 기존의 배터리 충전방식이 갖는 배터리 자체의 경제적 비용을 절감할 수 있으며 배터리 처분시 발생하는 환경오염 문제가 없다는 장점을 지닌다. 그리고 전동기의 용량과 휠의 용량을 증대시킬 경우 정전보상 시간을 증대시킬 수 있어서 최근에는 활발한 개발이 이루어져 그 실효성이 입증되고 있다. 전동기가 모터링

(motoring)모드로 운전시에 플라이휠은 회전기축에 연결되어 Fig. 3의 제어블록에서와 같이 높은 속도에서 충분히 휠이 관성 에너지를 갖도록 동기 속도까지 운전하게 된다. 이후 운전중 1차측에 전원이 공급되지 않을 경우 휠이 갖는 관성에너지로 인하여 1차측에는 전원이 유기된다. 이 유기된 전원을 부하의 전압원으로 사용하는 것이 본 시스템에서 제안하는 UPS 방식이다. Fig. 3에서 여자전류 지령치인 i_0^* 를 적절히 제어하게 되면 무부하시에 있어서 회전기 1차측의 전압제어가 가능해진다. 따라서 같은 그림에서와 같이 제어구성을 할 경우 1차측의 정전압 제어가 가능하다. 여기서 V_1 은 회전기 1차전압, V_1^* 는 회전기 1차전압의 기준값이고, 계통전압과 동등한 값으로 설정한다. 또, I_0^* 는 회전기 무부하 운전시에 있어서 여자분전류 기준값이다. 이 정전압제어는, 특히 계통전압의 변동시 혹은 순시정전등의 보상을 할 경우에 있어서 유효하게 동작한다. 앞에서 언급한 바와 같이, i_0^* , i_0^* 는 계통전류의 지령값이기 때문에, 순시정전 보상은, 그 기간 i_0^* , i_0^* 를 영(零)으로 함으로써 달성된다. 이와 같이 하면 회전기내의 여자인덕턴스가 1차측의 전압을 유지하고, 부하의 전력을 모두 회전기축이 공급하기 때문에, 부하전류가 정상시와 같이 흐른다. 그러나 부하의 유효전력을 보상하고, 플라이휠에서 대량의 에너지를 방출하면 보상하는 전력의 양에 따라 회전기의 속도 저하를 보이므로, 보상하는 에너지량과 플라이휠용량을 고려한 시스템의 제어를 하지 않으면 안된다.

5. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 설계한 시스템과 제어방식은 ACSL로 모의하였으며 시스템에 사용되어진 권선형 유도 전동기의 파라미터는 Table 1과 같다.

5-1. 역률 보상

Fig. 4는 역률이 보상되기전과 역률이 1인 두가지 경우를 순차적으로 보여주는 모의 결과를 나타내고 있다. 여기서 회전기의 1차전류가 2차측 제어에 의하여 변하고 이로 인해서 부하전류와 회전기 1차측의 합인 전원측 전류가 위상이 변한다. 모의는 시간상으로 1.0초에 전원측 무효분전류 지령치인 i_0^* 가 '0'이 되도록 하여 전류

Table 1. Motor parameters.

정격	22 Kw	L_s	43.75 mH
정격 속도	1800 rpm	L_r	44.09 mH
정격 토크	120 Nm	L_m	42.10 mH
R_s	0.1150 Ω	J_m	0.1618 kgm ²
R_r	0.0821 Ω	P	4

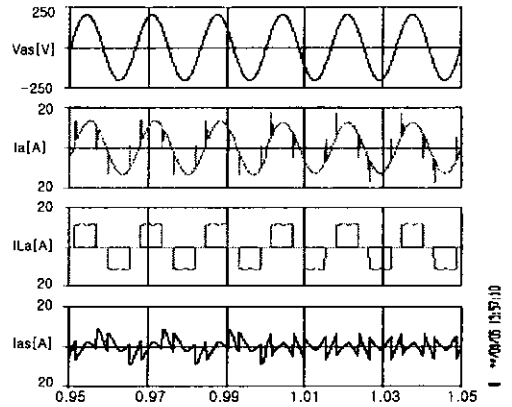


Fig. 4. Waveforms when system is operated as an uninterruptible power supply.

위상을 바꾸어주므로서 역률이 보상되는 것을 확인하였다. Fig. 4에서 Vas는 회전기 1차측의 상전압이며 Ia는 전원측 전류, ILa는 고조파 발생부하의 상전류, Ias는 회전기의 1차측 상전류를 각각 나타낸다. Fig. 3에서 알수 있듯이 부하전류(ILa)에 보상전류인 회전기의 1차측 전류(Ias)가 더해져서 전원측 전류(Ia)는 고조파가 제거된 정현파 전류가 되며 또한 전원측 유효/무효 전류 기준값에 따라서 각각 역률이 제어됨을 Fig. 4에서 알 수 있다. Fig. 5는 부하변동시 전류변화를 살펴본 것이다. 모의는 시간상으로 1.1초에 정류기부하를 병렬로 투입하였을 때 회전기의 1차측 전류가 변하면서 일정시간(약 0.07초) 후 정상상태에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 Fig. 3에서 전원계통측의 유효전류제어시 부하전류의 유효전류성분이 전달함수를 거처는데 이 전달함수를 적당한 시정수를 가지는 1차 지연요소로 구성하게 되면 부하변동시 과도변동이 지수적으로 변하도록 제어할 수가 있다.

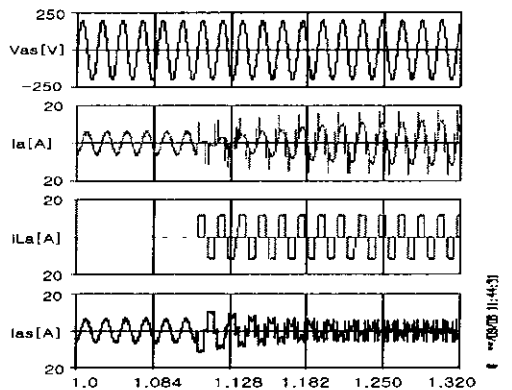


Fig. 5. Waveforms when system is operated during load change.

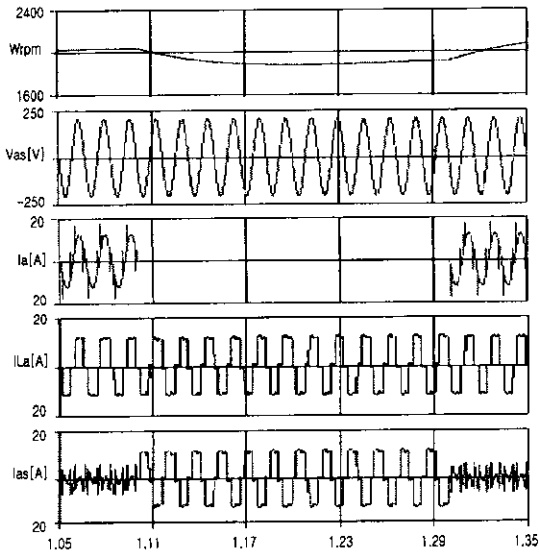


Fig. 6. Waveforms when system is operated as an uninterruptible power supply.

따라서 위의모의를 통하여 부하변동에도 안정적인 과도 응답 반응을 한다는 것을 확인할 수 있다.

5-2. 정전시 전원공급(UPS)

Fig. 6은 본 시스템에서 전원측의 전원이 공급되지 않을 경우 부하원에 전원을 연속적으로 투입하는 무정전 전원공급장치를 모의한 결과이다. 그림에서 전원측 전압이 1.1초부터 0.2초간 차단되었을 때 플라이휠의 관성으로 그 시간동안 회전기의 1차측 전압은 전원측의 전압을 유지한다. 이 유지전압은 전원이 공급되지 않는 부하, 즉 3상 다이오드 정류기부하에 전원으로 작용하여 연속적인 전원을 공급해준다. 따라서 부하전류가 전원이 차단되었을 시에도 Fig. 6과 같이 수msec 동안 안정하게 흐르는 것을 알 수 있다. 또한 전원 복구시 약 한주기 이내에 짧은 과도응답시간동안 다시 정상상태로 복구함을 확인할 수 있다. 그리고 시스템 구성도에서 살펴본 바와 같이 $I_a = I_{as} + I_{La}$ 이므로 전원측이 차단됨과 동시에 전동기의 1차전류(I_{as})가 부하전류(I_{La})의 역전류가 됨을 그림6에서 확인해 볼 수 있다. 여기서 속도(Wrpm)이 감소하는 것을 알수있는데 이는 회전자의 관성에너지가 소모되면서 속도가 감소하는 것을 의미한다. 하지만 실제 시스템에서는 모의에서와 달리 대용량 전동기와 마찰손실을 고려한 베어링을 사용하므로 순시정전 뿐만 아니라 상당시간 동안의 전원공급도 가능하다. 따라서 정전 보상 시에는 사용할 전력과 휠이 갖는 관성에너지를 고려하여야 할 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는, 권선형 유도기와 플라이휠을 이용한 장해전력보상 시스템을 설계하고 모의 시험을 통하여 그 유효성을 확인하였다. 설계된 보상 시스템의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- (1) 유효, 무효전력의 연속적인 동시제어를 고속으로 하는 것이 가능하다. 또 순시값벡터 및 좌표변환의 적용에 의해, 시스템의 제어법이 상당히 간단하다.
- (2) 급격한 부하변동에 대하여 안정적인 과도응답능을 보인다.
- (3) 플라이휠에 의한 에너지 저장에 의해, 대용량화가 용이하고, 경제적으로도 저렴한 무정전 전원 공급장치의 실현이 가능하다.
- (4) 종래의 인버터를 이용한 정지형 무효전력 보상장치나 액티브필터에 비교해서, 그 변화기용량을 약 30~40%까지 저감하는 것이 가능하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : 98-0101-08-01-3)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Hirotaka Chikaraishi, Minoru Arimitu and Yi Wang: "Fast response power stabilizer using ac - excited generator", T-IEE, Vol. 113-D, No. 11, pp. 1254-1261.
2. Hirofumi Akagi: "Control strategy and dynamic performance of a double -fed flywheel generator/ motor", T-IEE, Vol. 118-D, No. 11.
3. Hombu, M.: "Harmonic analysis on a slip -power recovery system fed by a DC link GTO converter", EPE 95, pp. 3-239-3-244.
4. Taniguchi, T.: "Variable speed storage fed by large scale cycloconverter", EPE 91, pp. 2.237-2.242.
5. Power and Industrial system R&D Division, "Control characteristic of an adjustable speed generation system with a flywheel excited by a dc link converter", Hitachi, EPE 97, pp. 2.695-2.700.
6. Trazynalowski, A.M.: "The field orientation principle in control of induction motor", Kluwer Academic Publishers, chap1, pp. 20-58.
7. Bose, B.K.: "Power electronics and ac drives", Prentice Hall.
8. Novotny, D.W. and Lipo, T.A.: "Vector control and Dynamics of AC drives", oxford, chap 4-8.
9. "Advanced Continuous Simulation Language", MGA Inc.