

최저 고조파전류발생 위상각제어기의 파라미터 설계

임홍우, 박수강, 조금배, 백형래(조선대), 김평호(서강정보대),  
장용해(광주기능대), 박해암(남부대)

the Design of Phase Angle Controller for Minimum Harmonic Current

H.W.Lim, S.K.Park, G.B.Cho, H.L.Baek(Chosun univ.), P.H.Kim(Seokang College),  
Y.H.Jang(Kwangju polytechnic college), H.A.Park(Nambu univ.)

**Abstract** - The single phase control system may become noisy when speed is controlled with a conventional triac AC controller. This paper describes that a simple modification to the triac circuit is shown to reduce the effect, at the cost of increased power dissipation in the controller.

1. 서 론

고조파전류에 대한 규제대책은 최근에 이르러 비정현 파의 소비전류를 사용하는 기기의 보급이 증가함에 따라 전력계통에 인입되는 고조파전류의 총량이 현저하게 증가함으로 인하여 전력계통에 있어서 여러 가지 문제를 일으킨다.

전기기기 중 트라이악을 사용하여 위상각 제어를 하는 경우 회로에서 발생하는 게이트의 트리거 위상각을 가변하여 원하는 소비전력 위치에서 사용하다보니 그들이 연결된 계통선 안으로 고조파전류가 유입되고 그들이 연결된 시스템 안으로 고조파전류의 유입으로 인하여 전력의 품질을 저하시키고 이로 인한 각종사고 및 전력계통에서의 장애의 요인이 되고 있는 실정이다.<sup>(1)</sup> 최근에 이르러 고조파의 발생원인은 그 종류와 형태가 매우 다양하게 나타남에 따라 각 분야별 고조파전류에 대한 저감 대책이 절실히 요구된다.

일반적으로 사용되는 위상각제어기의 스위칭소자로서 트라이악을 사용하게되는데, 위상각 제어방법은 부하에 입력되는 평균전력 가변이 용이하나 제어기가 연결된 계통선으로 고조파 전류의 유입으로 인해 전력의 품질을 저하시켜 각종사고 및 전력계통에서의 장애요인이 되고 있다.

트라이악과 같은 반도체 디바이스를 이용한 전력변환 최근에 이르러 고조파의 발생원인은 그 종류와 형태가 매우 다양하게 나타남에 따라 각 분야별 고조파전류에 대한 저감 대책에 관한 연구가 활발히 진행중이다.

또한 본 논문에서는 이러한 배경에서 기존의 위상각 제어기에 사용되는 트라이악의 양단에 병렬로 코일을 부착함으로써 고조파가 많이 발생하는 특정 트라이악 트리거 위상각에서도 고조파전류가 효과적으로 감소되고 부수적으로 지연각이 없으므로 역률의 저하를 막는 고조파전류 감쇠용 위상제어기의 파라미터 설계 및 시스템 구현에 관하여 기술하였다.

2. 변형된 위상 제어기

2.1 위상제어기에 의해 제어된 전압

위상각제어는 zero crossing 함으로서 교류 정현파의

턴-온되는 시간을 간단하게 제어할 수 있으나 전압과 전류의 위상차로 인한 역률이 현저하게 저하되고 전동기의 가청소음과 고조파성분을 많이 포함하며 모터에서 발생하는 열화가 심해진다는 문제점 있다.

유니버설모터의 인덕턴스 때문에 스위칭소자의 전류는 입력전압이 부(-)로 되기 시작하는  $\omega t = \pi$  에서 0으로 떨어지지 못한다. 소자에 흐르는 전류  $i_1$ 이  $\omega t = \beta$  점에서 0으로 떨어질 때까지 도통을 계속한다. 소자의 도통각은  $\delta = \beta - \alpha$  이며 이것은 지연각  $\alpha$ 와 부하의 역률각  $\theta$ 에 의존한다.

$v_s = \sqrt{2}v_s \sin \omega t$  가 순시입력전압이고 지연각이  $\alpha$  일 때 전류는 식 (1)과 같다.

$$L_a \frac{d i_1}{d t} + R_a i_1 = \sqrt{2} V_s \sin \omega t \quad (1)$$

식 (1)의 해는 식 (2)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$i_1 = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{(R_a/L_a)(\alpha/\omega)} \quad (2)$$

여기서, 부하임피던스  $Z = [R_a^2 + (\omega L_a)^2]^{1/2}$  이고, 부하의 역률각  $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$  이다.

상수  $A_1$  은  $\omega t = \alpha$  에서  $i_1 = 0$  의 초기조건으로부터 식 (3)을 구할 수 있다.

$$A_1 = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) e^{(R_a/L_a)(\alpha/\omega)} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하여 산출하면 소자전류는 식 (4)와 같다.

$$i_1 = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} [\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{(R_a/L_a)(\alpha/\omega - \theta)}] \quad (4)$$

전류  $i_1$  이 0으로 떨어지고 스위칭소자가 턴-오프되는 시각의 각  $\beta$ 는 식 (4)에서  $i_1(\omega t = \beta) = 0$  의 조건으로 알 수 있으며 다음의 관계식 (5)와 같이 주어진다.

$$\sin(\beta - \theta) = \sin(\alpha - \theta) e^{(R_a/L_a)(\alpha - \beta)/\omega} \quad (5)$$

실효출력전압은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} 2 V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{4 V_s^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\beta} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= V_s \left[ \frac{1}{\pi} \left( \beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (6) \end{aligned}$$

따라서,  $\alpha$ 를 0에서  $\pi$ 까지 위상각을 가변시킴으로써  $V_o$ 는  $V_s$ 로부터 0까지 제어될 수 있다.<sup>(2)</sup>

## 2.2 병렬 코일을 갖는 제어기

변형된 위상제어기의 구조는 기존의 위상각 제어기에 사용되는 트라이액의 양단에 병렬로 코일을 부착하였다. 이는 고조파가 많이 발생하는 특정 트라이액 트리거 위상각에서도 고조파전류가 효과적으로 감소되고 부수적으로 지연각이 없으므로 역율의 저하를 막는 효과를 얻는다.<sup>[3]</sup>

그림 1은 트라이액 양단에 병렬 코일의 가변에 따른 부하전류의 변화를 나타낸 시뮬레이션 파형이다. 또한 그림 2는 이때의 FFT 분석을 나타낸 것이다.

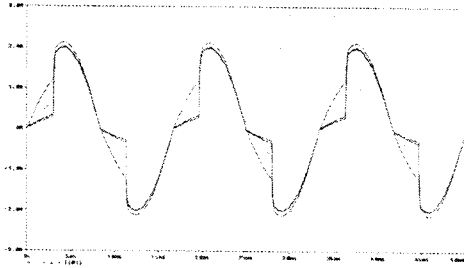


Fig. 1 Load current according to variation parallel coil using simulation tool

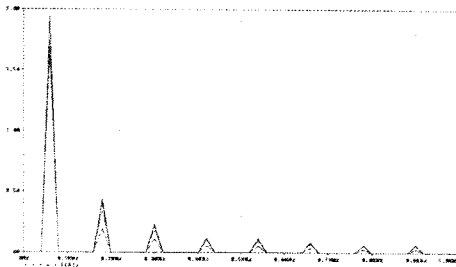


Fig. 2 FFT analyse of load current using simulation tool

## 3. 실험 및 결과

변형된 위상 제어시스템 분석을 위해 부하로는 유니버설 모터를 사용하였고 모터의 파라미터는 표 1과 같다.0.015

Table 1 Parameters of universal motor

Rated Power	1.2 [kW]	Rated Frequency	60 [Hz]
Rated Voltage	220 [V]	Rotor Inertia	[Kg·m <sup>2</sup> ]
Rated Speed	12,000[RPM]	Field Resistance	36 [Ω]
Armature Inductance	6 [mH]	Armature Resistance	11.6 [Ω]
Field Inductance	6.26 [mH]	Rated current	6 [A]

그림 3은 병렬 코일을 가지지 않는 기존의 위상제어기로 제어했을 때 부하전류의 파형을 나타낸 것으로 트라이액의 게이트 지연각이 45°일 때이며 그림 4는 이때의 고조파 스펙트럼 분석을 나타낸 것이다.

그림 5는 병렬 코일을 가지는 제안된 위상제어기에 의해 제어된 부하전류를 나타낸 것으로 그림 3에서와 마찬가지로 지연각이 45°일 때의 전류이다. 부하전류가 선형적으로 흐르는게 특징이라 할 수 있으며 저차 고조파 전류가 현저하게 감소 됨을 알 수 있다. 그림 6은 동일한 조건에서 부하전류에 대한 고조파 스펙트럼을 나타낸

것이다. 그림 7은 병렬 코일에 흐르는 전류를 나타낸 것으로 트라이액의 트리거 신호가 인가되기 전에만 전류가 흐르며 부하전류는 이 전류에 의해 선형적으로 흐른다.

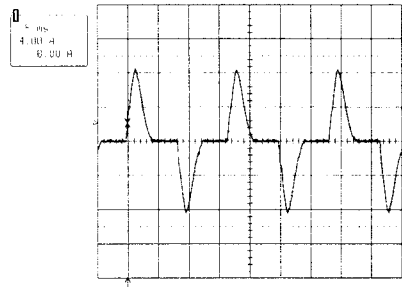


Fig. 3 Load current at triac trigger angle 45° in traditional controller

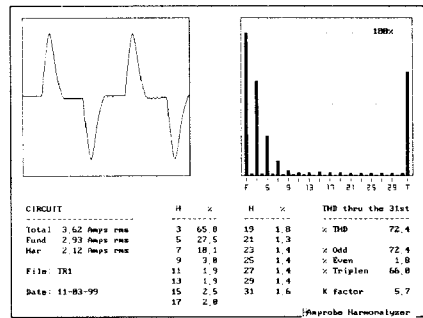


Fig. 4 Harmonic current spectrum analyse in traditional controller

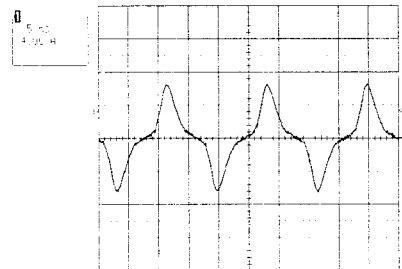


Fig. 5 Load current at triac trigger angle 45° with parallel coil

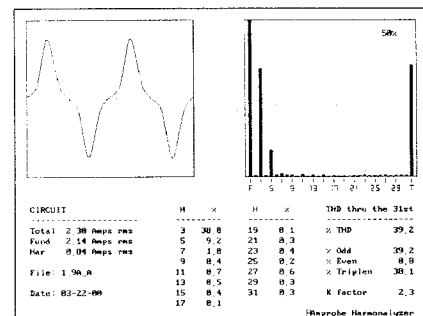


Fig. 6 Harmonic current spectrum analyse with parallel coil

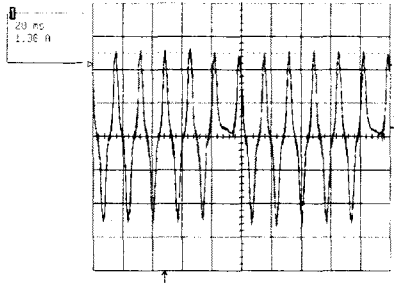


Fig. 7 The current through parallel coil

table 2. Parallel coil parameter

inductance	resistance
336 mH	17.3 Ω
213 mH	109.2 Ω
533 mH	96 Ω
1.44 mH	0.34 Ω
6.73 mH	1.37 Ω
15.8 mH	3.4 Ω
28.1 mH	5.3 Ω

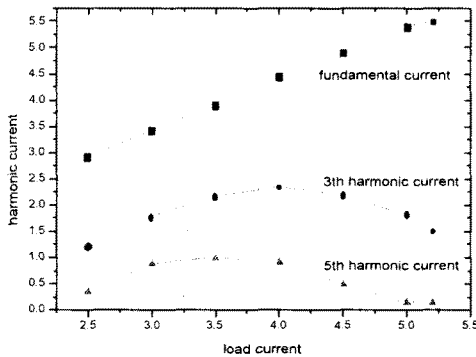


Fig. 8 The graph of sub-harmonic current with traditional controller

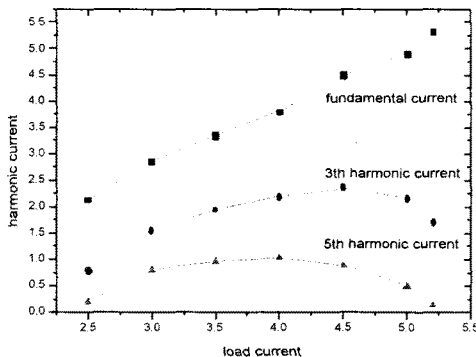


Fig. 9 The graph of sub-harmonic current with parallel coil ( 533mH, 96 Ω )

부하전류의 선형적인 특성으로 인해서 트라이액의 양단에 병렬로 부착된 코일의 파라미터에 따라 고조파 전류의 값이 기존의 위상각제어기에 의해 제어되었을 때보다 감소된다. 저차 고조파 전류가 감소되는 병렬 인덕터에 대한 파라미터를 표 2에 나타내었다. 그림 8은 기존 제어기에 의해 제어된 부하전류에 대한 저차 고조파 전류의 분포를 나타낸것이고 그림 9는 제안한 병렬 코일이 533mH, 96 Ω일 때 제안한 제어기의 부하전류에 대한 저차고조파전류의 분포를 나타낸 것이다.

기술적인 과제는 부하의 정격전류에 대해서 트라이액에 병렬로 연결된 코일의 임피던스값을 맞춰주는 것이다. 일례로 정격전류 6[A]인 모터부하에서는 병렬부착 코일의 임피던스값이 500[mH], 100[Ω]의 값을 가질 때 고조파전류가 IEC 규격에서 정하는 한도값을 넘지 않는다.

### 3. 결 론

위상각 제어방법에서 부하로의 전력 흐름은 점호각을 지연시킴으로써 제어된다. 위상각 제어는 영전압 신호를 검출하여 AC 정현파의 턴-온되는 시간을 간단하게 제어할 수 있으나 전압과 전류의 위상차로 인한 역률이 저하되고 전동기의 소음과 고조파성분을 많이 포함하며 모터에서 발생하는 열이 많다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 기존의 위상각제어기의 스위칭소자인 트라이액의 양단에 병렬로 선포트 코일(본 연구에서 제안한 명칭)을 부착한 제어시스템을 구성하여 고조파가 많이 발생하는 특정 트라이액 트리거 위상각에서도 고조파전류가 효과적으로 감소시킬 수 있었고 부수적으로 기존의 위상각 제어기에서의 지연각이 없어지므로 역률 향상 및 효율의 증대를 가져올 수 있었다.

위상각 제어시스템에서 발생하는 제3고조파 전류는 최대 허용 고조파전류 제한 값인 2.3[A] 값 가까이 나타나고 있다. 기존의 위상각제어 시스템에 병렬로 선포트 코일을 삽입하여 전류의 연속성을 지니게 회로를 구성하였고 그 결과 최소 바이패스전류에 의해 0전압으로는 만들 수는 없으나 고조파 전류는 감소시킬 수 있었고 연속적인 전류로 인해 역률 저하를 막을 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Roderick N. Ebben, John R. Brauer, Zoltan J. Cendes, Nabeel A. Demerdash, "Prediction of Performance Characteristics of a Universal Motor Using Parametric Finite Element Analysis", IEEE IEMDC, 1999, pp 192~194.
- [2] Ping Zhou, John R. Brauer, Scott Stanton, Zoltan J. Cendes, "Dynamic Modeling of Universal Motors", IEEE IEMDC, 1999, pp 419~421.
- [3] Ren H. Wang, Richard T. Walter, "Computer Aided Simulation of Performance and Brush Commutation for Universal Motors with Two Coil Per Armature Slot", IEEE IEMDC, 1999, pp 559~561.