

6 펄스 사이크로콘버터의 새로운 전류제어법

조 규 민* 김 영 석
인하대학교 전기공학과

A New Current Control Method of the Six-pulse Cycloconverter

Cho Kyu-min* Kim Young-seok
Dept. of Electrical Eng. Inha Univ.

Abstract

This paper presents a new current control method of the six-pulse cycloconverter for a variable speed drive system of a large capacity ac motor. It is necessary for a high performance control as a vector control that the output current scheme of the cycloconverter has a good characteristic in transient state. A new proposed current control method is that the output current of the cycloconverter is followed after the current reference directly as fast as possible under any condition. Simulation results with the proposed new current control method are shown. As a result the validity of the proposed method is confirmed.

1. 서론

현재 대형전동기는 양수플랜트나 제지플랜트의 수백Kw급에서부터 철강플랜트의 수천~수십만 Kw급까지 그 수요가 점차로 확대되어감과 더불어 고품질 및 생산성 향상의 측면에서 이들 대형전동기들의 가변속구동도 더불어 증가하고 있다. 정속구동에는 무정류자 전동기(주로 농형유도전동기)가 가변속에는 직류전동기가 많이 사용되어 왔으나 제어기술의 발달과 전력변환기의 발달에 힘입어 대형플랜트의 가변속구동에 있어서도 교류전동기의 채용이 증가하고 있으며, 이에 필요한 전력변환기로는 변환효율과 대용량화의 용이함등의 측면에서 사이크로콘버터의 사용이 바람직하다. 그러나 현재 국내의 사이크로콘버터 적용기술은 선진국에 비하여 상당히 난후된 상태이다. 일례로 일본의 경우 시속 500kw/h의 자기부상열차 구동을 선형전동기의 제어를 9.6MVA출력의 사이크로콘버터로 구현한 바 있다.^[1]

본 연구에서는 벡터제어법과 같은 교류전동기의 고정도 가변속 구동 등을 위하여 6펄스 사이크로콘버터의 새로운 전류제어법을 제안한다. 제안하는 새로운 전류제어법의 기본원리는 필자들이 기 제안한 바 있는 LC공진회로를 이용한 사이크로콘버터의 새로운 전류제어법의 원리와 같은 것으로 실험을 통하여 우수한 제어성능을 갖고 있음을 확인한 바 있다.^[2,3] 본 논문에서는 6 펄스 사이크로콘버터의 새로운 전류제어법의 구현 알고리즘을 소개하고 이에 의한 컴퓨터 모의실험결과에 대하여 검토를 행하고자 하였다.

2. 본론

2.1 6펄스 사이크로콘버터

그림 1에 6펄스 사이크로콘버터 주회로를 나타내었다. 비순환

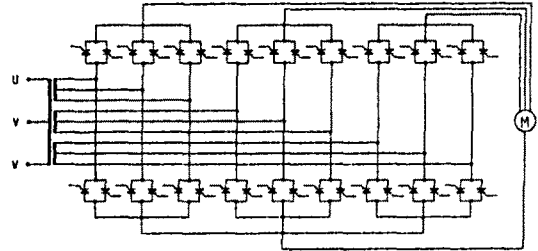


그림 1. 주회로도

형의 사이크로콘버터로 교류전동기 구동을 위하여 3상 4선 출력을 취하였고 선간단락 방지를 위하여 입력측에 3상 4선 변압기가 설치된 회로구성이다. 이는 20~30Hz 이하 출력시 양호한 정현파 전류를 출력할 수 있으며 직접변환방식이므로 직류링크가 포함된 인버터 시스템에 비하여 변환효율이 높은 장점을 지니고 있다. 모두 36개의 스위칭소자가 소요되지만 다이리스터를 사용하기 때문에 수백~수천KVA 이상의 대용량이 되면 될수록 인버터 시스템의 경우보다 오히려 회로구성이 상대적으로 간단해진다. 그림 2에 출력 1상분의 P군 콘버터의 6가지 동작모드를 나타내었다. 각 모드는 3상 입력전원으로부터 출력측에 나타낼 수 있는 6가지 선간전압에 따라 구분된 것이다. P군 콘

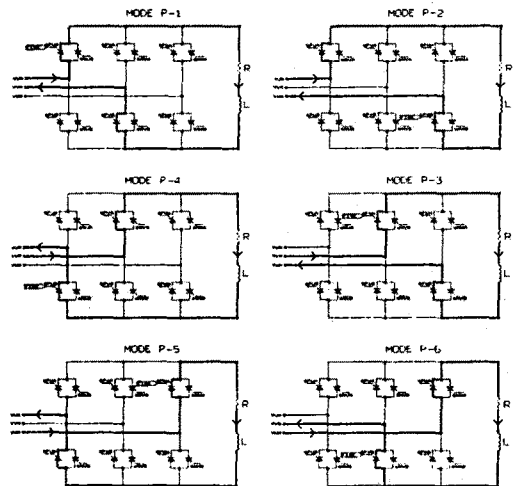


그림 2. P군 콘버터 동작모드

버터의 동작이 종료될 때까지 각 모드는 순차적으로 동작한다. 모드 P-1에서 모드 P-2로의 전류(commutation)를 위하여 다이리스터 QPWB에 점호신호를 인가하여 턴-온 됨과 동시에 QPVB가 턴-오프 되어야 하므로 이를 위하여 전인축의 전압은 W상의 전압이 V상의 전압보다 낮은 상태이어야 한다. 따라서 QPWB의 점호 신호는 $\frac{\pi}{2}$ 에서 $\frac{3}{2}\pi - t_s$ 사이에서 인가되어야 하며 이 기간을 놓치면 전류(commutation)실패가 발생한다. 여기서 t_s 는 다이리스터의 최소 전류여유시간이다.

2.2. 기존 사이크로컨버터의 전류제어

일반적인 경우 사이크로컨버터의 출력제어는 기준전압 지령에 대하여 위상변조를 통한 전압출력의 변화로써 이루어지므로 사이크로컨버터에 의한 전동기 전류제어시에는 전류제어를 위한 보상기가 필요하다. 그림 3은 통상적으로 적용되어지고 있는 사이크로컨버터에 의한 전동기 전류제어 제어블럭도이다.

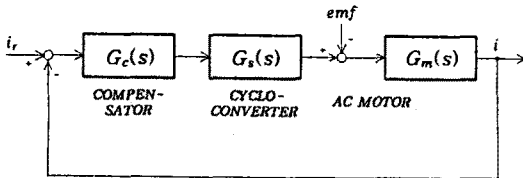


그림 3. 기존의 전류제어 블럭도

사이크로컨버터를 연속시스템으로 가정하여 설계된 PI보상기 혹은 Phase-lag 보상기 등의 여러 보상기가 적용되어지고 있다. 그러나 실제 사이크로컨버터는 그 출력을 연속적으로 제어할 수 없는 이산시스템이고 샘플링 시간 또한 불규칙적이므로 이들 보상기의 설계는 컴퓨터 모의실험 등을 통하여 그 특성을 확인하는 것이 바람직하다. 또한 시스템 정수의 변동이나 외란 등의 영향을 보상하기 위하여는 복잡한 연산알고리즘과 DSP등의 고속 연산기가 소요된다.

2.3. 6 펄스 사이크로컨버터의 새로운 전류제어법

본 논문에서 제안하는 새로운 전류제어법은 사이크로컨버터의 출력전류가 지령전류를 직접적으로 추종하도록 점호신호를 발생 시켜주는 방법으로 부하의 상태나 여타의 시스템 정수의 변동에 상관없이 주어진 상황하에서 시스템이 가진 최대한의 성능으로 지령전류를 추종하도록 되어 있어 전류제어를 위한 부가적인 보상기가 필요없다.

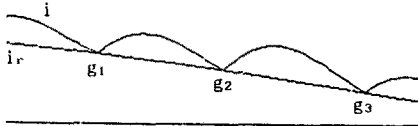


그림 4. 점호시점의 결정

그림 4는 제안하는 방법의 기본적 점호신호 발생방법을 보여주는 것으로 전류 오차가 영이 되는 시점(g_1, g_2, \dots)에서 전류(commutation)를 시켜주면 그림에서와 같이 실제전류는 맥동을 하면서 지령전류를 추종하게 된다. 그러나 지령전류의 급격한 변화 또는 심한 부하변동이나 시스템 능력이상의 과도한 지령동에 의하여 전류오차 영점이 발생하지 않는 경우들이 발생되므로 이 경우 오차의 부호 및 전류극성에 따라서 점호신호를 $\alpha=0$ 또는 $\alpha = \pi - t_s$ 점에서 인가하여 최대한 빠르게 지령전류에 근접할 수 있도록 한다. 이러한 기본 알고리즘은 다른 각종의 컨버터들에도 적용이 가능한 것으로 단지 각각의 컨버터들의 동작특성에

적합하도록 이를 실현해주는 알고리즘만이 변화되면 된다.

2.4. 제어 알고리즘

그림 5에 6펄스사이크로컨버터에 제안한 전류제어법을 구현시켜주는 제어회로의 일례를 나타내었다. 먼저 초기 시동시 또는 P-N군 컨버터의 동작 교체시 해당전류지령의 극성에 따라서 전류를 흘릴 수 있도록 이에 적합한 전압을 발생시켜 주어야 하므로 해당 시점에 있어 최대 또는 최소의 선간전압을 발생시키도록 구성되어 있다. 이를 위하여 매 순간 마다의 최대 또는 최소 선간전압에 대한 정보를 ROM TABLE에 저장, 전원과 동기시켜 이를 항상 출력하도록 하여 기동시 이 정보를 활용한다. 이와 같이 초기기동이 되면 전류오차 영점 신호 또는 전류극성 판별 및 ROM TABLE에 의하여 발생하는 최대 혹은 최소 전압 발생 점호신호에 따라서 다음 동작모드로 전류(commutation)를 시켜서 전체적인 동작을 수행하도록 설계되어 있다.

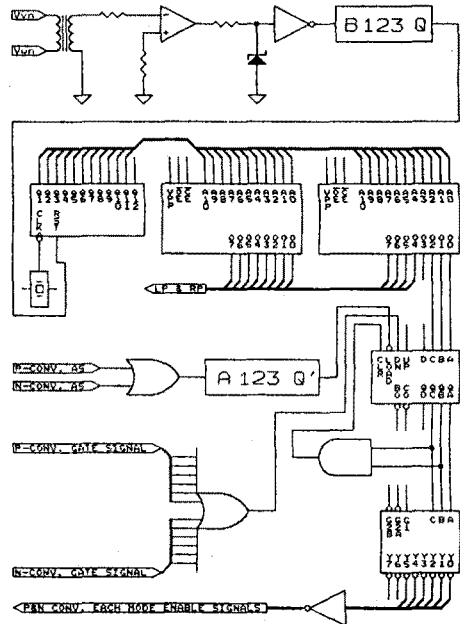


그림 5. 주요 제어회로도

2.5. 컴퓨터 모의실험 결과 및 고찰

모의실험을 RL수동부하에 제안한 전류제어법을 6펄스사이크로컨버터에 적용시켜 수행하였으며 이에 적용된 주요시스템정수들은 다음과 같다. 입력 선간전압 220V, 부하저항 5Ω, 부하인덕턴스 20mH, 지령전류 20~40A, 출력주파수 5~30Hz 등이다. 먼저 그림 6, 7, 8, 9는 각각 30Hz, 20Hz, 10Hz, 5Hz의 출력전류 지령에 대한 실제 전류파형이다. 제안된 전류제어 알고리즘이 잘 적용되어 짐을 확인할 수 있다. 다만 초기동작시 최대 또는 최소의 선간전압을 발생시키므로 인하여 전류에 큰 맥동이 나타남을 알 수 있는데 이는 출력주파수에 따라서는 불규칙적으로 발생된다. 본 모의실험에서는 부하를 고정으로 하였기 때문에 출력주파수가 낮을수록 부하축 인덕턴스의 영향이 작게 되어 큰 맥동을 보이고 있으나 전체적인 면에서 볼 때 일시적인 현상으로 이에 고조파함유는 미미한 것으로 출력전류에 대한 고조파 분석결과로 알 수 있었다. 그림 10은 10Hz 출력시의 부하전압 파형을 나타낸 것으로 출력전압비가 거의 1인 상태로 운전되고 있음을 알 수 있다. 그림 11, 12는 10Hz 출력시의 입력전압, 전류파형과 입력전류의 스펙트럼이다. 부하의 역율이 98%의 상

태이고 출력전압비가 거의 1인 상태에서 다소 양호한 역율을 지니고 있음을 확인할 수 있다. 부하의 역율과 출력전압비가 낮아질수록 이와 더불어 입력측의 역율은 낮아지게 될 것이며 이는 사이크로콘버터가 지니고 있는 최대의 단점이다. 그림 13은 10Hz 출력시 출력전류에 대한 고조파 분석결과로 전류맥동에 기인하여 지령전류 40A에 비하여 다소 큰 전류가 흘렀음을 알 수 있다. 이를 보상하는 방법에 대하여는 기 제안한 바 있으나^[2] 전동기의 제어알고리즘에 의하여 이러한 영향은 자동적으로 보상되어 질 수 있으므로 본 연구에서는 전류맥동에 기인하는 전류오차 보상은 적용하지 않았다. 출력 전류에 포함된 고조파는 미미하여 전동기 토오크에 맥동을 미칠 정도는 못되는 것으로 판단되며, 고조파 분석을 통한 계산결과 지령전류의 위상과 출력전류의 기본파분의 위상은 정확히 일치된 상태임을 확인하였다. 마지막으로 그림 14는 10Hz 출력시 전류지령의 크기변화에 대한 전류추종을 나타내는 것으로 과도상태에서도 그 추종능력이 우수함을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 대용량전동기의 가변속구동에 적용이 적합한 6 펄스 사이크로콘버터에 대한 새로운 전류제어법을 제안, 이의 알고리즘을 소개하였으며 컴퓨터 모의실험을 수행한 결과로서 제안한 새로운 전류제어법은 높은 주파수 출력시에는 다소 위상 지연이 있으나 20Hz 이하의 경우에 있어서는 위상지연도 거의

없이 잘 추종하고 있음을 알 수 있었다. 또한 과도상태에 있어서도 최대한 빠르게 지령전류를 추종함을 확인할 수 있었다.

따라서 본 전류제어법을 적용하여 벡터제어법과 같은 전동기의 고성능 가변속 제어를 실현한다면 우수한 결과를 가져올 것으로 판단되어진다.

추후 연구과제로는 제어회로를 제작하여 실험을 수행하는 것과 초기동작시 발생하는 큰 전류맥동을 줄이기 위하여 현재 최대 또는 최소선간전압으로 기동되는 알고리즘을 수정, 보완하여 적당한 크기의 전압 선택 및 그 이후의 정상동작 알고리즘의 보완에 관한 연구를 수행하는 것이다.

참고문헌

- [1] Takashi Shijo 외 2인, "Characteristics of Linear Synchronous Motor Drive Cycloconverter for Maglev Vehicle ML-500 at Miyazaki Test Track", IEEE Trans. Ind. App., Vol. IA-17, No.5, pp. 533-543, 1981.
- [2] 김 영석, 조 규민, "고주파 LC탱크회로를 이용한 사이크로콘버터에 새로운 전류제어법", 대한전기학회 논문지 42권 3호 pp. 7-18, 1993.
- [3] 김 영석, 조 규민, 최 경수, "고주파 LC 공진회로를 이용한 유도전동기 구동용 사이크로콘버터의 전류제어에 관한 연구", 대한전기학회 전력전자 연구 발표회 논문집, 14회, pp. 46-50, 1993.

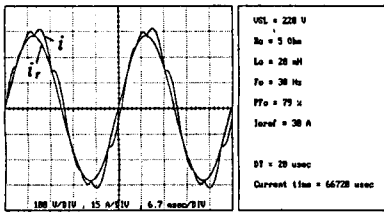


그림 6. 30Hz 출력시 전류파형

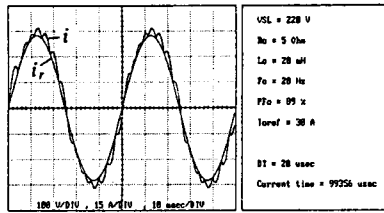


그림 7. 20Hz 출력시 전류파형

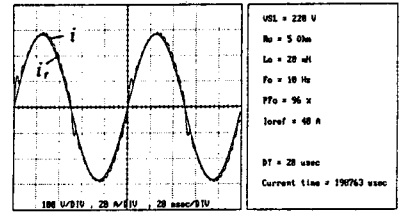


그림 8. 10Hz 출력시 전류파형

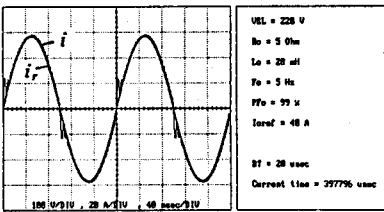


그림 9. 5Hz 출력시 전류파형

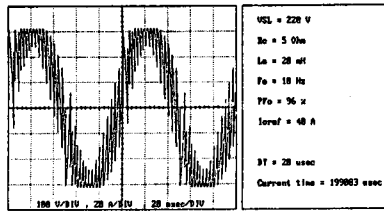


그림 10. 출력전압파형 (10Hz 출력시)

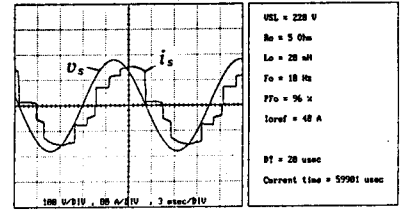


그림 11. 입력상전압, 전류파형 (10Hz 출력시)

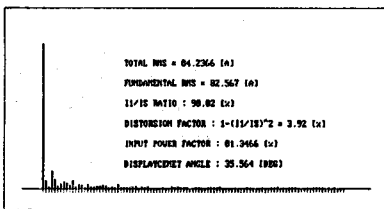


그림 12. 입력전류파형의 스펙트럼 (10Hz 출력시)

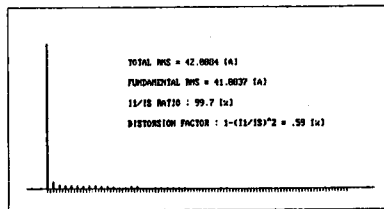


그림 13. 출력전류파형의 스펙트럼 (10Hz 출력시)

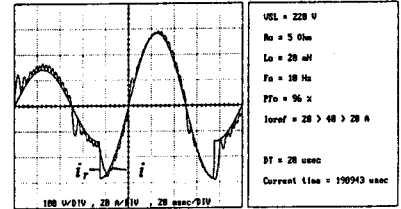


그림 14. 과도상태 전류파형 (10Hz 출력시)