

AC-DC 전력변환기의 역률개선 제어기법에 관한 연구

*곽동걸, 이현우

*동해대학교 전기전자공학과, 경남대학교 전기공학과

A study on control strategy of power factor correction for AC-DC power conversion system

Dong-Kurl Kwak* and Hyun-Woo Lee

*Dept. of Electrical and Electronic Eng. Donghae Univ.

Dept. of Electrical Engineering Kyungnam Univ.

ABSTRACT

The high power factor converters are classified step-up, step-up-down and step-down converter. The power conversion system must be increased switching frequency in order to achieve a small size, a light weight and a low noise. And the power system brings on a high efficiency and high power factor. When a switch of the step down converter is operated with a commercial frequency(60Hz), a reactor using the converter is gone with a great number of harmonics waveforms of low grade. As results of this, the converter is decreased input power factor and is increased system size. To improved these, this paper proposes a PSM(Pulse Size Modulation) control strategy operated with high power factor.

1. 서 론

반도체 제조기술의 발달은 전력용 스위치의 고속 스위칭을 가능케 하였다. 이것에 따라서 스위치 모드 전력변환기(SMPC; Switch Mode Power Converter)는 스위칭 주파수를 높임으로써 변환기의 소형화, 경량화 그리고 저잡음화 등을 성취하게 된다.^{[1][2]} 그리고 이들 변환기에 사용된 스위치의 높은 스위칭 주파수에 의해 시스템의 입력역률은 대단히 개선되었다. 고역률 컨버터에는 강압형, 승압형 그리고 승강압형의 세종류로 분류될 수 있다. 승압형과 승강압형은 회로내 사용된 제어소자를 고주파 스위칭으로 동작시키면 소형경량화의 리액터를 이용할 수 있는 반면에 강압형은 상용주파수로 동작되는 리액터가 이용될 필요가 있기에 시스템의

중량이 증대되어 효율 및 역률을 감소시키는 문제점이 주어진다.^[3] 그래서 강압형 컨버터를 고역률로 동작시킬 경우에는 회로에 사용된 리액터내의 인덕턴스를 제어할 필요가 있다. 그러나 인덕턴스를 제어할 경우 수반되는 리액터 전류의 리플의 증대가 우려된다. 이 리플전류는 많은 왜형파를 가지고 입력전류에 나타나므로 시스템의 역률을 저하시키게 되는 문제점으로 된다.^{[4]-[6]} 본 논문에는 리액터 전류의 리플이 증대될 경우에도 입력전류의 왜형을 거의 발생시키지 않는 제어기법을 제안하여 강압형 고역률 전력변환기의 소형경량화를 이루고자 한다.

2. 제안회로의 구성과 동작원리

그림 1에 본 논문에서 제안하는 역률 개선형 강압형 AC-DC 컨버터의 주회로 구성을 나타낸다.

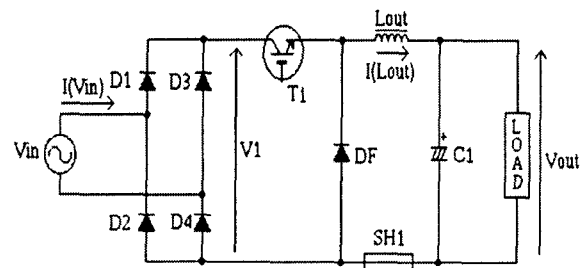


그림 1 AC-DC 컨버터의 주회로
Fig. 1 Main circuit of AC-DC converter

회로구성은 입력단의 교류신호 V_{in} 과 이를 직류로 바꾸는 전파 폴 브릿지 다이오드 그리고 한 개의 스위치 T_1 과 에너지 축적용 리액터 L_{out} 와 C_1 그리고 환류 다이오드 DF 로 이루어져 강압형 컨버터로 구성된다. 리액터 L_{out} 는 충분히 큰 인덕턴스

를 가지는 것으로 가정하면 전류 $I(L_{out})$ 는 연속모드로 동작한다. 회로 동작은 스위칭 한주기에 대해서 그림 2와 같이 두 개의 모드로 형성되며, 스위칭 한주기에 대해서 부하는 리액터 성분에 의해 정전류로 보는 것이 가능하다.

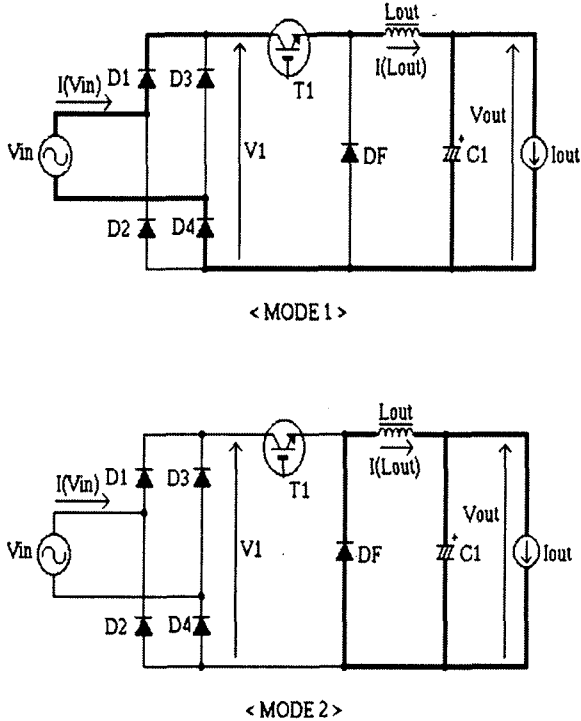


그림 2 AC-DC 컨버터의 주회로 동작원리
Fig. 2 Operating principle of main circuit of AC-DC converter

<모드 1 : 스위치 T1 온 기간>

스위치 T1을 온하면 다음의 경로로 전류가 흐른다. 여기서 입력전류 $I(V_{in})$ 는 $I(L_{out})$ 로 된다.

$$V_{in} \rightarrow D1 \rightarrow T1 \rightarrow L_{out} \rightarrow C1 \rightarrow D4 \rightarrow V_{in}$$

$I(L_{out})$ 에 의해서 인덕터에는 자속이 증가한다. 자속증가분 $\Delta\Phi_{on}$ 은 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta\Phi_{on} = (|V_{in}| - V_{out}) \cdot T_{on} \quad (1)$$

여기서 T_{on} 은 스위치 T1의 온 기간이다.

<모드 2 : 스위치 T1 오프 기간 >

스위치 T1이 오프하면 $I(L_{out})$ 는 다음의 경로로 순환되므로 입력전류 $I(V_{in})$ 는 제로로 된다.

$$L_{out} \rightarrow C1 \rightarrow DF \rightarrow L_{out}$$

$I(L_{out})$ 은 부하로 유입되어 인덕터에는 자속이 감소한다. 자속감소분 $\Delta\Phi_{off}$ 는 다음 식으로 된다.

$$\Delta\Phi_{off} = V_{out} \cdot T_{off} \quad (2)$$

여기서 T_{off} 는 스위치 T1의 오프 기간이다. 인덕터 L_{out} 의 자속량의 변화는 일정하므로 $\Delta\Phi_{on} = \Delta\Phi_{off}$ 이다. 식 (1)과 식 (2)를 같게 놓고 전압변환율 α 을 구해보면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{V_{out}}{|V_{in}|} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (3)$$

이상에서의 결과들은 리액터의 값들이 매우 크다고 가정하여 전류 $I(L_{out})$ 의 리플을 무시하고 얻어진 결과이다. 이것은 L_{out} 의 값이 충분히 커야지 그 전류 $I(L_{out})$ 의 리플은 무시할 정도로 적게 된다. 그리고 그림 3에 나타낸 종래의 제어회로를 이용하면, 즉 상용 주파수의 정현파 신호와 톱니파의 캐리어 신호를 비교하여 스위치소자를 PWM 제어하면 입력전류는 완전한 정현파로 제어된다. 그러나 리액터 전류 $I(L_{out})$ 의 리플을 무시할 수 없을 때에 그림 3의 제어방법은 리플전류의 크기에 대응한 입력전류가 흐르며 왜형을 발생시킨다. 이 방식에서 $I(L_{out})$ 의 리플을 무시하기 위해서는 대단히 큰 값의 인덕터 L_{out} 를 이용하여 성취할 수 있지만 시스템의 중량을 증대시키는 문제점이 주어진다.

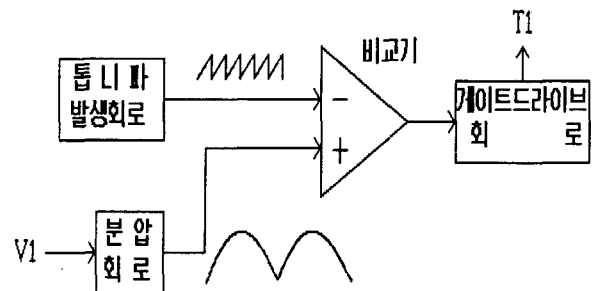


그림 3 종래의 제어회로
Fig. 3 Conventional control circuit

3. 제어회로의 구성과 기법

역률 개선형 AC-DC 컨버터는 펄스 면적 변조 (PSM; Pulse Size Modulation) 제어기법을 적용하여 이루어진다. 펄스 면적 변조는 리액터의 리플 전류와 같이 주기적으로 변동하는 값을 이용해서 입력전류를 정현파상으로 만들어 역률을 개선시키는 고정도의 제어기법이라 할 수 있다. 그림 4에 본 논문에서 제안하는 제어회로를 나타낸다. 리액터 전류 $I(L_{out})$ 는 검출용 션트(shunt) SH1에 의해 검출되며, SH1의 전압 $V(SH1)$ 은 제어회로의 입력 단 증폭기의 적분회로에 입력된다.

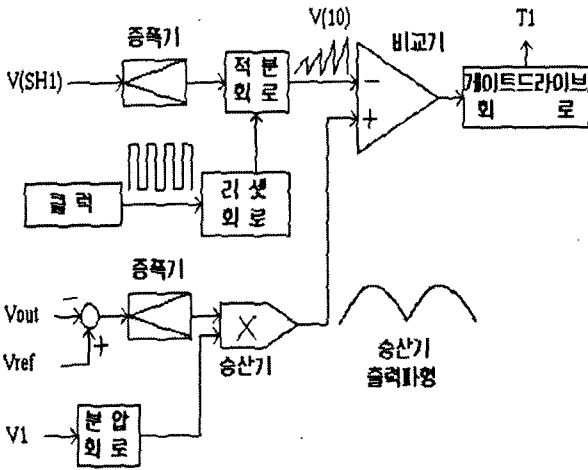


그림 4 AC-DC 컨버터의 역률개선 제어회로
Fig. 4 Control circuit of power factor correction for AC-DC converter

적분회로는 일정한 주기에 의해서 리셋되고 그 출력은 $I(L_{out})$ 의 값에 비례한 크기로 정현파상의 톱니파 $V(10)$ 으로 된다. 이 톱니파와 입력전압을 전파 정류한 파형 $V1$ 과 비교해서 스위치 $T1$ 을 구동시키는 PWM 파형을 얻을 수 있다. 또한 출력 전압 V_{out} 을 기준전압 V_{ref} 와 비교하고 송산기를 이용해서 $V1$ 의 진폭을 제어하는 것에 의해서 출력 전압 V_{out} 을 정전압으로 제어하는 것이 가능해진다.

4. 제안회로의 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 5에 리액터 전류 $I(L_{out})$ 와 적분회로의 출력 $V(10)$ 의 파형을 나타낸다. 리액터 전류에는 40[A, p-p] 정도의 큰 리플이 포함되어 있다. 적분회로의 출력에는 리액터 전류에 비례한 정현파상의 톱니파가 얻어진다. 그림 6에 입력전압 V_{in} 의 파형과 입력 전류 $I(V_{in})$ 의 파형을 보인다. 입력 전류 $I(V_{in})$ 의 파형을 살펴보면 입력전압과 동상의 정현파상으로

PWM 제어되어 나타남을 알 수 있다. 그러므로 입력역률은 거의 1에 가깝게 된다.

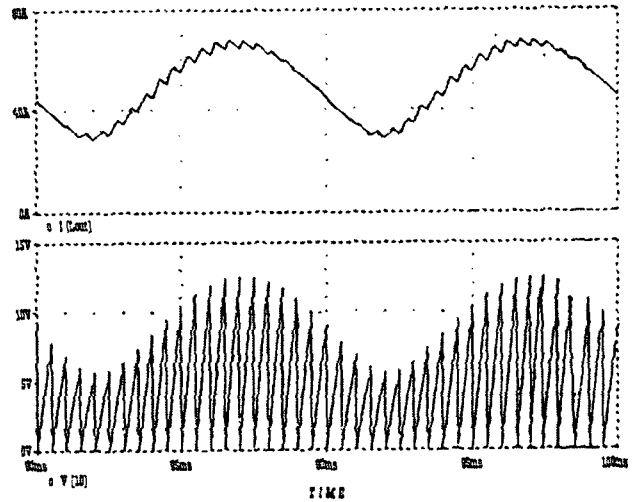


그림 5 리액터 전류와 적분회로의 출력전압
Fig. 5 Reactor current and output voltage of integrated circuit

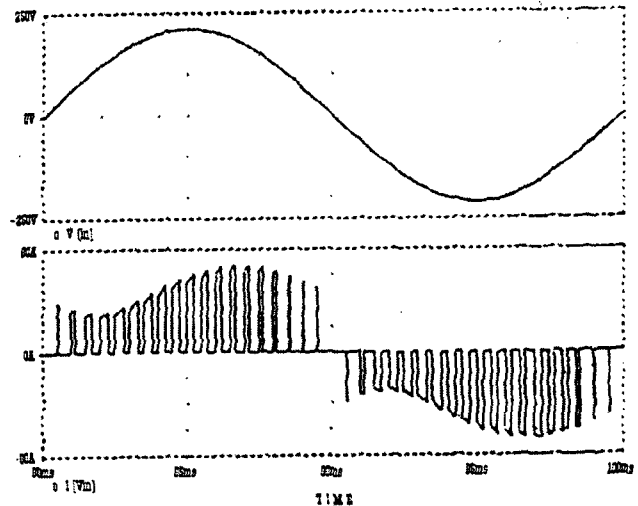


그림 6 교류 입력전압과 입력전류
Fig. 6 Waveforms of AC input voltage and input current

그림 7에는 그림 6의 입력전류 $I(V_{in})$ 의 파형을 푸리에 해석한 결과를 나타낸다. 20차 이하의 고조파 성분은 거의 나타나지 않으므로 필터의 설계가 용이하게 되어 시스템은 소형경량화로 될 수 있다. 또한 시뮬레이션에서는 동작의 상태를 쉽게 확인하기 위해 스위칭 주파수를 2[kHz]로 설정하였다. 실제의 회로에서 동작주파수를 10[kHz] 이상으로 설정한다면 입력전류 $I(V_{in})$ 에 포함되는 고조파 성분은 더욱 제거하기 쉽게 시스템은 설계될 수 있다.

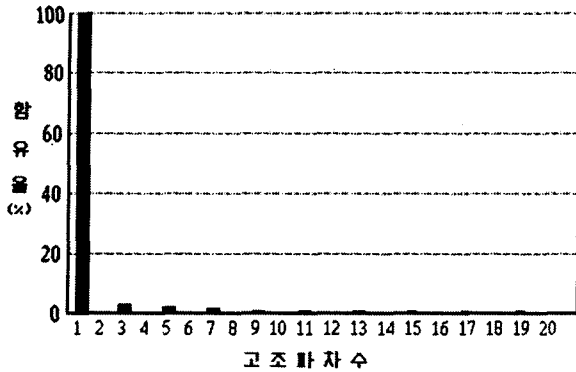


그림 7 교류 입력전류의 고조파 스펙트럼
 Fig. 7 Harmonics spectrum of AC input current

5. 결 론

본 논문에서 제시한 제어기법에 의해 AC-DC 전력변환기는 리액터 전류의 리플 성분이 크게 될 경우에도 입력전류에는 거의 왜형파형이 나타나지 않았다. 그 결과 입력역률은 거의 1에 가깝게 되어 변환기는 고역률로 동작이 가능하게 되었고, 본 제어 기법에 의해 저차고조파 성분은 매우 적은 값으로 나타므로 필터의 설계가 예민할 필요가 없고, 리액터의 인덕턴스를 비교적 적은 값으로 설정할 수 있으므로 변환기를 소형경량화로 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 제어회로는 기존의 스위치 모드 전력변환기들에 적용될 수 있으며, 이 경우 변환기들은 고역률로 동작될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y.G. Kang and A.K. Unpadhyay, "Anyalysis and Design of a Half-Bridge Parallel Resonant Converter", IEEE PESC Rec ., pp. 231-243, 1985
- [2] D.M. Divan, "The Resonant DC Link Converter-A New Concept in Power Conversion", IEEE IAS, Rec., pp. 648-656, 1986
- [3] G. Venkataramanan, D.M. Divan, "Pulse Width Modulation with Resonant DC Link Converters", IEEE IAS, pp. 984-990, 1990
- [4] S.B. Dewan, "Optimum Input and Output Filters for a Single-Phase Rectifier Power Supply", IEEE Trans Ind. Appl ., vol. IA-17, no. 3, pp. 282-288, 1981
- [5] L.D. Salazar, G. Joos, P.D. Ziogas, "A low loss soft switching PWM CSI", IEEE PESC Proceeding, pp. 1098-1140, 1992
- [6] M.J. Kocher, R.L. Steigrwald, "An AC-to-DC Converters with High Quality Input Waveforms", IEEE Trans Indust Applic. Vol. IA-19, No. 4, July/August, pp. 586-599, 1983