

안정기용 능동역율 제어기술

(Active Power Factor Correction Technology of Electronic Ballast)

한수빈* · 박석민 · 정학근 · 정봉만 · 유승원

(Soo-Bin Han · Suck-In Park · Hak-Guen Jeoung · Bong-Man Jung · Seong-Won You)

한국에너지기술연구원

Abstract

Active power factor correction methods for electronic ballast are reviewed in this paper. PFC technology becomes more important due to various wattage ratings of new light sources. Expecially, most popular two method, critical conduction mode and average mode, are described. Each characteristics are compared in relation to application target and power rating.

1. 서론

전자식안정기의 경우 교류전원을 사용하기 때문에 램프를 구동하기 위한 인버터를 동작시키기 위해서는 그림 1과 같은 정류기를 사용하여 고압의 직류전압을 만들게 된다. 이 때 교류전원의 최대값 부근의 짧은 기간만 정류기가 도통하여 전원측에는 폭이 좁고 피크값이 큰 펄스성 전류 파형을 발생하게 된다. 이러한 펄스성 전류는 전원선을 타고 흘러 전원전압에 왜곡을 발생시키게 된다. 안정기와 같이 동일한 장소에서 많은 수가 설치되어 동작될 경우는 이러한 펄스성 전류가 동시에 발생하게 되어 그 영향이 심해지게 되고 다른 전자기기에 오동작 등 악영향을 미치게 된다. 또한 입력역율을 떨어뜨리는 주 원인이 되기도 한다.

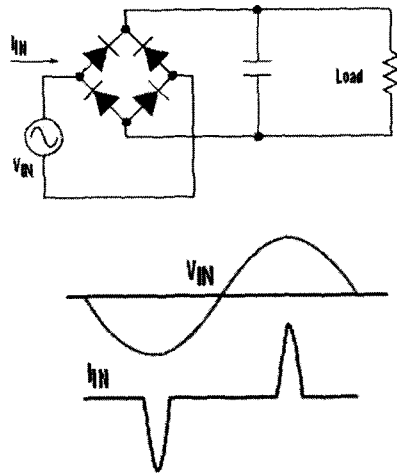


그림 1 일반 정류기 회로 및 입력 펄스 전류 파형
Fig. 1 Rectifier circuit and pulse current waveform

따라서 국제적으로 이러한 펄스성 전류를 규제하고 있고 입력전류의 고조파 성분에 대한 제한치를 구체적으로 두고 있다. 예로 표1의 경우 IEC규격으로 용량별로 입력전류의 고조파 값에 대한 제한 값을 정해두고 있다. 이를 만족하기 위한 제어 기술들이 많이 연구가 되었는데 전자식 안정기에서는 최근에는 능동역율제어(Active power factor correction) 방식이 폭넓게 이용되고 있다.

본 논문에서는 다양한 능동역율제어 방식에 대해서 고찰하고 각 방식에 대한 특징을 살펴봄으로써 응용에 맞게 적절한 응용에 맞게 사용할 수 있도록 비교 분석하였다.

표 1 고조파 제한 IEC 1000-3-2의 규격값
Table 1 Harmonic current limits of IEC 1000-3-2

HARMONIC ORDER n	MAXIMUM PERMISSIBLE harmonic current per Watt mA/W	INPUT POWER			
		50	100	200	300
3	3.4	170	140	680	1020
5	1.9	95	190	380	570
7	1	50	100	200	300
9	0.5	25	50	100	150
11	0.35	17.5	35	70	105
13 ≤ n ≤ 39 odd harmonics only	3.85/n	192.5/n	385/n	770/n	1155/n

2. 능동역율제어 방식의 종류

통상 형광등 전자식 안정기의 경우 현재 수십 W급이 최대 출력이므로 역율개선회로는 그림 2와 같이 Boost converter를 Boundary mode에서 동작시키는 Critical conduction mode방법을 채택하고 있다. 원리는 직류 링크 단의 전압이 되는 캐패시터 C의 전압을 제어하는 신호가 $V_{control}(t)$ 라고 할 때 이 값을 다이오드 정류 전압 $V_g(t)$ 로 곱한 값과 직류 링크에서 흐르는 전류 $i_g(t)$ 를 저항 R_s 값으로 측정된 전압값인 $V_a(t)$ 를 서로 비교하게 된다. 비교한 결과 $V_a(t)$ 이 더 크게 되면 SR Latch를 reset하게 된다. 단 별도로 전류가 0이 되는 순간을 측정하여 이 때 이 SR Latch는 set이 되게 동작된다. 이 동작에 따라 SR Latch의 출력인 Q가 부스트 컨버터의 반도체 스위치인 Q1을 on-off 시키게 된다.

복잡한 방식으로 동작되지만 원리적으로는 인덕터 L에 흐르는 전류가 0가 되면 반도체 스위치인 Q1을 on시키게 되고 반도체 스위치 Q1의 전류가 계속 증가하다가 정류전압의 제적을 갖는 피크 전류값에 도달하게 되면 반도체 스위치 Q1은 off가 되어 0이 될 때까지 감소하게 되고 0이 되면 다시 Q1이 도통하게 된다. 이 Critical conduction mode방식의 역율제어는 결과적으로 인덕터의 전류가 연속인 연속모드와 불연속인 불연속모드의 경계영역에서 동작하는 것으로 그 전류 파형은 그림 4와 같이 전류의 피크치를 따라 움직이게 된다.

만약 안정기의 출력이 높게되면 이 Critical conduction mode의 경우 전류의 피크값이 매우 커지게 되어 인덕터 L의 설계와 반도체스위치인 Q1에 대한 부담을 주게 된다. 따라서 이 경우는 그림 3과 같이 Average mode로 전류를 제어하는 역율제어 방식을 고려해야 한다. 원리는 직류 링크 단의 전압이 되는 캐패시터 C의 전압을 제어하는 신호가 $V_{control}(t)$ 라고 할 때 이 값을 다이오드 정류 전압 $V_g(t)$ 로 곱한 값과 직류 링크에서 흐르는 전류 $i_g(t)$ 를 저항 R_s 값으로 측정된 전압값인 $V_a(t)$ 를 서로 비교하여 제어의 오차값으로 만들게 된다. 이후 이 제어의 오차값은 PI제어기를 통해서 PI제어기의 출력값은 PWM 발생기에 의해 PWM파형으로 변환된다. 이때 PI제어기의 출력에 따라 PWM파형의 펄스 폭이 바뀌게 된다. 이 PWM파형이 결국은 부스트 컨버터의 반도체 스위치인 Q1을 on-off 시키게 된다.

이 Average mode방식의 역율제어는 결과적으

로 그림 5와 같이 인덕터의 전류가 피크값이 아닌 평균값의 전류로 제어되게 되어 고효율에서는 유리하게 된다.

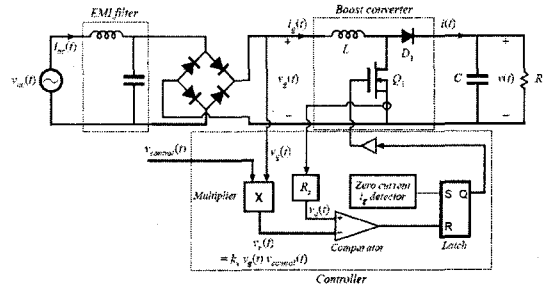


그림 2 Critical conduction mode PFC 방식
Fig. 2 Critical conduction mode PFC method

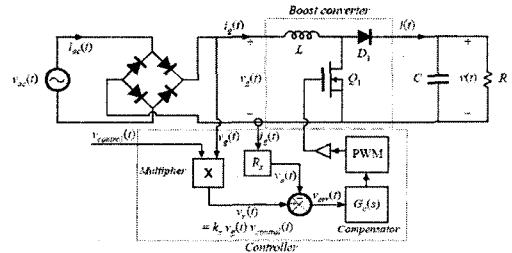


그림 3 Average current mode PFC 방식
Fig. 3 Average current mode PFC method

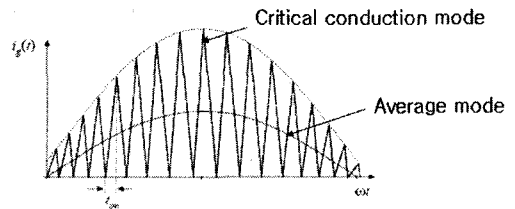


그림 4 PFC 회로의 제어 모드 방식에 따른 전류 파형

Fig. 4 Current waveform between different PFC methods

이러한 동작이 Average mode이거나 Critical conduction mode 방식이거나 모두 주변회로의 파라미터를 결정하는 것이 매우 어렵기 때문에 실제로는 개별적으로 구성하지 않고 상용 IC를 사용하게 된다. 이 상용 IC는 TI사, On Semiconductor사, 그리고 Fairchild사 등 대부분의 주요 반도체 회사에서 출시되고 있으며 광원용 안정기의 경우는 출력전압은 350-400V로 제어되도록 조정하는 것이 일반적이다. 역율제어 부분은 관련

반도체 회사의 경우 기본적인 설계 지침이 주어지므로 이를 참고하여 설계되지만 실제 제작시 정교한 제작이 요구된다.

PFC 회로는 통상 넓은 범위의 입력 전압의 변화에도 동작이 유지되도록 설계되는데 이 때 역율과 고조파함유를 그리고 효율이 조금씩 변화한다. 그림 6의 경우는 90V 교류 입력에 대해서 출력 전력의 변화에 대한 입력 전류의 파형이며 그림 7의 경우는 230V 교류 입력에 대한 전류파형이다. 높은 교류전압에서는 전류의 영점부근에서 전류의 크기가 전체적으로 적어지게 되는데 이는 PFC IC의 전류 감지 등 설정 파라미터에 의해서 차이가 생기게 된다. 주변 저항 및 캐패시터의 파라미터 값을 조정하면 이를 개선할 수 있지만 그 경우 또 낮은 교류전압에서는 전류의 영점부근에서 불연속 형태의 전류 파형이 발생할 수 있다. 따라서 주로 동작하는 동작의 교류전압을 중심으로 파라미터를 최적화시키는 것이 바람직하다.

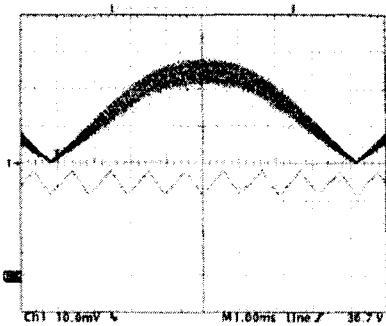


그림 5. Average mode에서의 인덕터 전류
Fig. 5 Current waveform of average mode

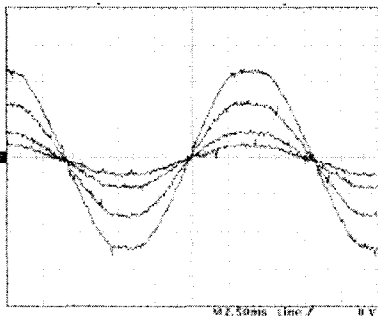


그림 6. 교류 90V입력시 전류파형
Fig. 6 Current waveform at AC 90V

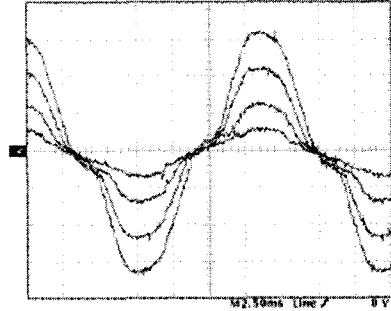


그림 7. 교류 230V입력시 전류파형
Fig. 7 Current waveform at AC 230V

3. 결론

본 발표에서는 전자식 안정기에 대한 능동역율 제어방식에 대해 가장 대표적인 두가지 방식에 대해서 소개하였다. 형광등용 안정기외에 HID안정기 및 무전극광원용 안정기 등 다양한 광원 및 용량의 안정기가 필요하게 되어 역율제어 방식도 적절히 선택할 필요가 있다. 서로 다른 방식에 대한 장단점과 함께 용량에 따른 선택이 고려되는 것으로 설계자의 선택이 보다 중요하게 되었다.

현재 대표적인 PFC방식에 대해서 기술하였으나 지속적인 연구를 통해서 다양한 PFC 방식이 상용화 되고 있다. 예를 들면 최근에 정류된 회로의 전압을 측정하지 않고 또한 인덕터의 전류에 대한 측정도 필요없이 간단히 역율제어를 할 수 있는 one-cycle control 방식의 제품도 IR사에서 출시되고 있어 전자식안정기의 역율제어 이용에 고려할 필요가 있다.

전자식 안정기에서 PFC의 부분은 광원의 점등에 직접적인 영향을 주는 부분은 아니지만 실제적으로 신뢰성 및 안전규격에 가장 큰 영향을 주는 부분이다. 또한 광원의 조광을 위한 경우 PFC자체에서 광원의 전력을 제어하는 하나의 수단이 되기 때문에 향후로 보다 중요한 기술이 될 것으로 전망된다.

참고 문헌

- [1] R. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers, 2001
- [2] "Power Factor Correction Handbook", ON Semiconductor, 2004