

Power Factor Correction IC의 기술동향

김 정 원

(페어차일드코리아반도체 파워컨버전팀)

1. 서론

Power Factor(PF)는 AC 입력전류와 입력 전압의 위상차와 입력 전류의 파형이 정현파에 가까운 정도에 따라서 정의되는 값이다. 위상차가 작을수록 그리고 정현파에 가까울수록 역률은 1에 가까운 값이 된다. 역률이 낮으면 낮을수록 무효전력이 상승하기 때문에 발전소에서 전력을 공급하는 측에서 보면 실제로 소모되지 않는 전력을 생산하고 공급해야 한다. 그러므로, 무효전력 생산을 위한 추가의 발전소가 필요하고 송전 선로와 변전소의 용량도 필요 이상으로 커지게 되며 송전 선로에서의 손실도 증가한다.

세계적으로 경제 규모가 커짐에 따라 전력 사용량이 증가하고 유가 상승과 신규 발전소 건설의 어려움으로 유럽에서는 이미 역률을 규제하고 있고 여러나라에서 규제를 위한 준비를 하고 있으며 몇 년 안에 규제가 시행될 전망이다.

이러한 역률을 향상시키기 위한 제어 IC는 10년 이상의 역사를 가지고 있으나 규제의 실행이 늦춰짐에 따라 최근 들어서 그 사용이 증가하고 있는 추세이며 IC 개발도 활발하게 이루어지고 있다.

Power Factor Correction(PFC) 제어 IC는 사용되는 응용의 전력에 따라 크게 DCM(discontinuous conduction mode) IC와 CCM(continuous conduction mode) IC로 나누어진다. DCM은 DCM과 CCM의 경계에서 동작하기 때문에 CRM(critical conduction mode) 또는 BCM(boundary conduction mode)으로 불린다.

PFC의 전력 회로로는 boost converter가 가장 많이 사용되고 있다.

2. DCM PFC IC의 기술동향

DCM PFC IC는 90년대 초반부터 개발되었고 PFC 규제가 낮은 전력으로 확대됨에 따라 그 사용이 증가하고 있는 추세다.

DCM PFC IC는 기본적으로 boost 인덕터 전류가 영이 되는 순간 다시 boost 스위치를 켜서 인덕터 전류를 증가시키는 방법을 사용한다^[1]. 인덕터 전류가 항상 영에서 시작하므로 스위치 turn-on time이 일정하면 인덕터 전류의 피크치는 입력 전압에 비례하게 되어 인덕터 전류의 평균값, 즉 입력 전류는 입력 전압의 파형을 따라가게 된다.

DCM PFC IC는 boost 스위치의 turn-on time을 결정하는 방법과 인덕터 전류가 영이 되는 순간을 검출하는 방법 그리고 오차 증폭기의 유형에 따라 몇 종류의 IC가 있다.

2.1 Boost 스위치의 turn-on time을 결정하는 방법

Boost 스위치의 turn-on time을 결정하는 방법은 입력 전압을 검출하여 입력전압에 비례하는 기준 전압을 생성하여 스위치 전류가 그 기준 전압이 되는 순간 스위치를 turn-off 하는 방법(current mode)과 내부 램프 신호와 오차 증폭기의 출력 전압을 비교하여 두 신호가 만나는 순간에 turn-off 하는 방법(voltage mode)이 있다.

Current mode 방법은 그림 1과 같이 정류된 교류 전압 정보인 V_{in} 과 출력 전압 제어기의 출력 V_{ctrl} 을 곱셈기를 이용하여 곱하여 정현파 기준 전압 V_{sin} 을 얻어 이 정보와 스위치 전류 정보 V_{cs} 와 비교하여 두 값이 같아지면 스위치를 끄게 된다.

Current mode 방법을 사용하는 IC는 페어차일드의 FAN7527B, KA7526 등이 있으며 ST, Infineon, TI 등 여러 회사의 제품이 있다.

Voltage mode 방법은 current mode 방식과는 달리 입력 전압 정보 없이 그림 2와 같이 IC 내부의 Ramp 신호와 출력

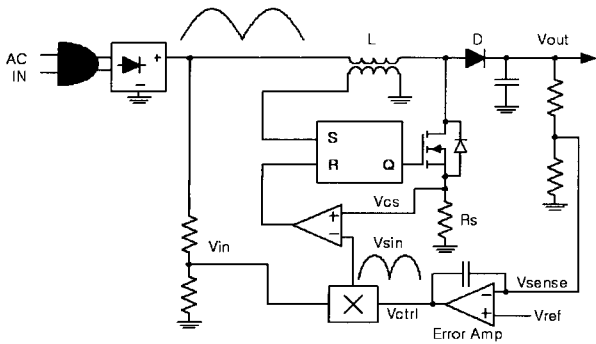


그림 1 Current mode 방식의 DCM PFC IC

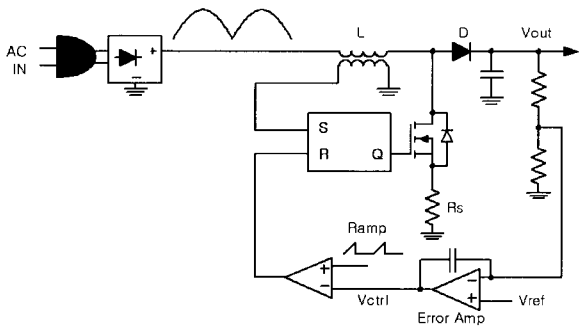


그림 2 Voltage mode 방식의 DCM PFC IC

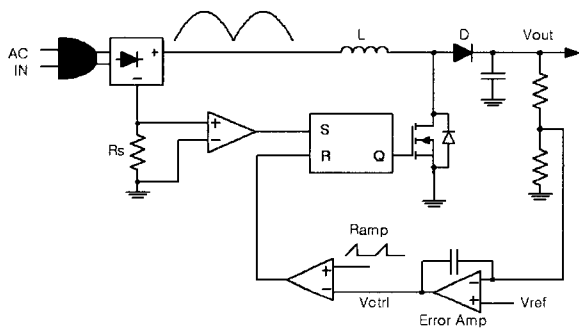


그림 3 인덕터 전류 검출 방법

전압 제어기의 출력을 비교하여 스위치를 끄는 방법이다. 이 방법은 입력 전압 검출을 위한 저항 분압기가 없어도 되므로 저항에서 소모되는 손실을 줄일 수 있다.

Voltage mode 방법을 사용하는 IC는 TI의 UC3852가 있으며 SG와 페어차일드에서 신제품을 개발 중이다.

인덕터 전류가 영이 되는 순간을 검출하는 방법에는 그림 1과 그림 2와 같이 boost 인덕터의 보조권선을 사용하여

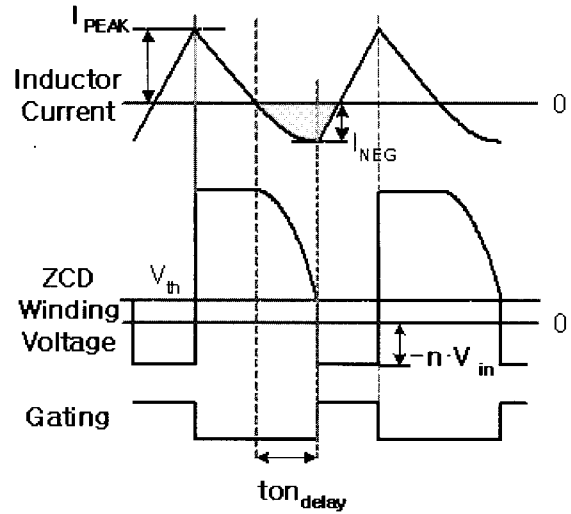


그림 4 보조권선을 사용한 영전류 검출 방법

검출하는 방법과 그림 3과 같이 인덕터 전류를 직접 센싱하여 검출하는 방법이 있다. 인덕터 전류를 직접 센싱하는 방법은 노이즈에 민감하여 UC3852 이외에는 사용되지 않고 있다.

보조권선을 사용하는 방법은 그림 4와 같이 스위치 turn-off 후에 권선 전압이 V_{th} 보다 낮아지는 지점에서 다시 스위치를 turn-on하는 방법이다. 이 방법을 사용하는 경우 스위치 양단 전압이 어느 정도 낮아진 후에 스위칭이 이루어지므로 스위칭 손실을 줄일 수 있지만, 그림에서와 같이 인덕터 전류는 음으로 흐르는 부분이 있어서 입력 전류에 왜곡이 생기게 된다. 응용 분야에 따라서 THD의 규제가 엄격한 분야가 있어 이러한 왜곡을 줄이기 위한 연구가 여러 반도체 회사에서 계속되고 있다.

오차 증폭기는 일반적인 증폭기를 사용하는 것과 transconductance type의 증폭기를 사용하는 것이 있다. PFC converter의 제어기의 bandwidth는 일반적으로 20Hz 아래로 설정되기 때문에 입력 전압 변화나 부하 변동 등의 과도상태에서 출력전압 변동이 심하다. 이 경우 출력 커패시터의 정격 전압을 넘어 커패시터에 손상을 주는 경우가 있으므로 출력 과전압 보호 기능이 매우 중요하다.

그림 3과 같이 일반적인 오차 증폭기를 사용하는 경우 - 단자의 전압이 + 단자의 전압과 같이 유지되기 때문에 과전압 상황 시 시스템 보호를 위해서는 - 단자에서 보상 커패시터를 통해 증폭기 출력 쪽으로 흘러 들어오는 전류를 센싱하여 그 값이 일정값 이상이면 스위치를 끄는 방법을 쓴다. 그러나 그 전류가 40uA 정도로 매우 낮아 노이즈에 민감한 특성을 보인다.

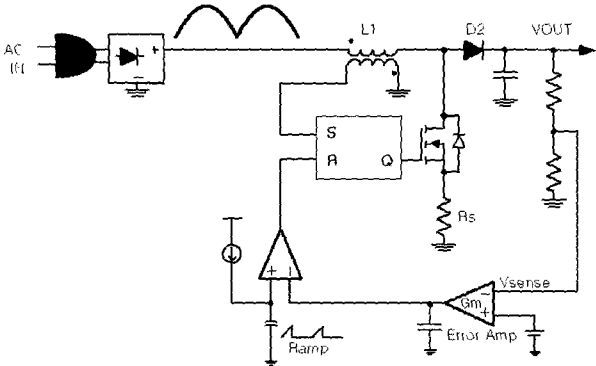


그림 5 Transconductance 오차 증폭기를 쓴 경우

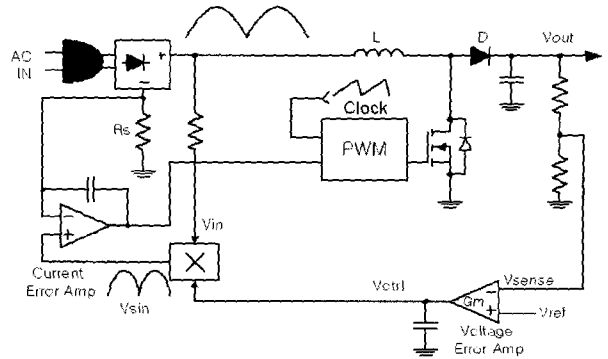


그림 6 Average current mode PFC IC

그러나, 그림 5와 같이 transconductance type의 오차 증폭기를 사용하면 + 단자와 - 단자의 전압 차이에 비례하는 전류가 증폭기 출력으로 흐르므로 - 단자 전압은 PFC 출력 전압에 비례하여 변하게 되고 과전압 상황에서 - 단자 전압이 상승하게 되면 보호 회로를 동작시키면 된다. 이 방법은 노이즈에 둔감하므로 transconductance type의 오차 증폭기를 사용하는 방법이 점점 증가하고 있다.

이상에서 정리한 내용 외에도 DCM PFC IC의 경향은 최근 들어 강화되고 있는 대기 전력 규제로 IC의 소모 전류를 줄이기 위해서 바이폴라 공정에서 CMOS 공정으로 변화하고 있고 주변 부품의 전력 소모를 줄이기 위해서 주변 부품을 줄이는 방향으로 가고 있다. 또한 출력 전력이 낮을 경우 스위칭 손실과 IC에서 소모하는 전력을 줄이기 위해서 PFC IC의 동작을 정지시키는 기능이 추가되고 있다. 그리고, 시스템 보호를 위해서 여러 보호 기능이 추가되고 있다.

3. CCM PFC IC의 기술동향

CCM PFC IC는 average current mode PFC IC와 input current shaping PFC IC, soft switching PFC IC, PFC/PWM combo IC로 구분될 수 있다^[2-5].

3.1 Average current mode PFC IC

Average current mode IC는 입력 전류를 정현파가 되도록 제어하기 위하여 boost 인덕터 전류의 평균값이 정현파 모양을 따라가도록 제어하는 IC이다. 그 제어를 위해서 출력 전압 오차 증폭기 외에 인덕터 전류 오차 증폭기가 필요하다. 인덕터 전류가 정현파 모양이 되도록 제어하므로 PFC 특성은 좋지만 IC pin 수가 증가하고 가격이 상승하는 단점이 있다. 이 방법을 사용하는 IC는 페어차일드의 ML4821, ML4810과 TI, ST, Onsemi 등 여러 회사의 제

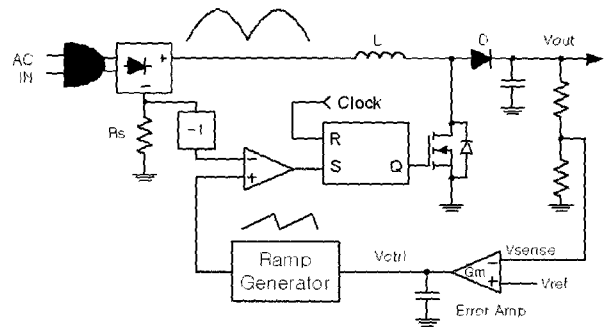


그림 7 Input current shaping PFC IC

품이 있다.

3.2 Input current mode shaping PFC IC

Input current mode PFC IC는 인덕터 전류의 평균값을 제어하지 않고 그림 7과 같이 출력 전압 오차 증폭기만으로 입력 전류가 정현파에 근사하도록 제어하는 방법이다. 이 경우 인덕터 전류 오차 증폭기가 필요하지 않으므로 적은 pin 수로 CCM PFC IC를 구현할 수 있다.

제어 방법은 그림 8과 같이 clock 신호에 스위치를 turn-off 하고 램프 신호와 인덕터 전류 센싱한 전압과 비교하여 만나는 지점에서 스위치를 turn-on 한다. 이 경우 인덕터 전류의 low peak를 정현파가 되도록 제어하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이 방법은 average current mode 보다 THD 특성은 조금 떨어지나 저가의 제품을 만들 수 있기 때문에 최근에 사용이 증가되고 있다. 이러한 IC로는 페어차일드의 FAN4803과 Infineon의 IC가 있다.

3.3 Soft switching PFC IC

현재까지 나와 있는 soft switching PFC IC는 영전압 스위칭 boost converter 제어용 IC이다. 페어차일드의 FAN4822

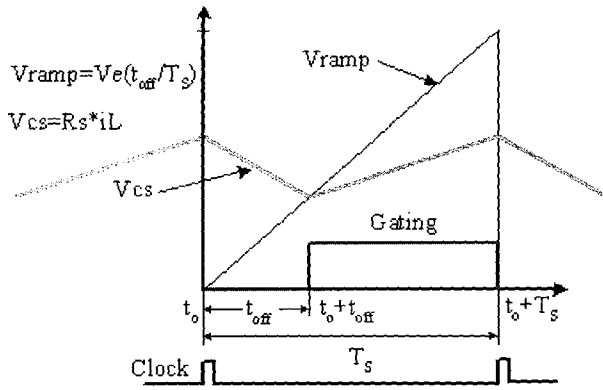


그림 8 Input current shaping PFC IC

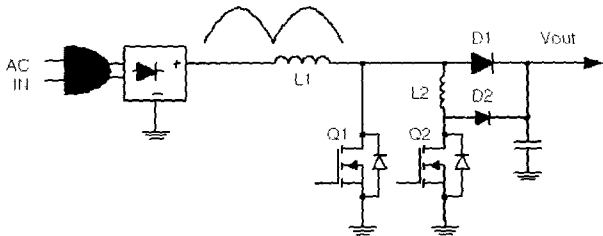


그림 9 ZVT boost PFC topology

와 TI의 UC3855가 ZVT(zero voltage transition) PFC IC로서 500W 이상의 high power system에 적합하나 시스템 가격 상승으로 아직까지는 널리 사용되지 않고 있다.

3.4 PFC/PWM combo IC

대부분의 응용에서 PFC IC와 PWM IC를 동시에 사용하고 PFC IC와 PWM IC를 동기화 하였을 경우 EMI나 PFC 출력 커패시터의 전류 리플을 줄일 수 있어서 combo IC가 많이 사용되고 있다. 전류 리플을 줄이기 위한 방법은 PFC leading edge modulation/PWM trailing edge modulation 방법으로 PFC 스위치는 내부 clock에 동기하여 turn-off 하고 PWM 스위치는 내부 clock에 동기하여 turn-on하는 방법으로 PFC와 PWM 스위치의 turn-on이 동시에 이루어지지 않게 하여 전류 리플을 줄이는 방법이다. 그림 10에서 알 수 있듯이 PFC는 스위치 off time 때 커패시터에 전류를 공급하고 PWM에서는 스위치 on time 때 커패시터에서 전류를 소모하기 때문에 PFC off time과 PWM on time을 동기화하면 커패시터를 거치지 않고 PWM 쪽으로 직접 전류를 공급할 수 있게 된다. 그림에서 PFC TEM/PWM TEM 방법에 비해 PFC LEM/PWM TEM 방법의 PFC 출력 커패시터의 전류 ripple이 작은 것을 알 수 있다. 이 방법은 페어차일드의

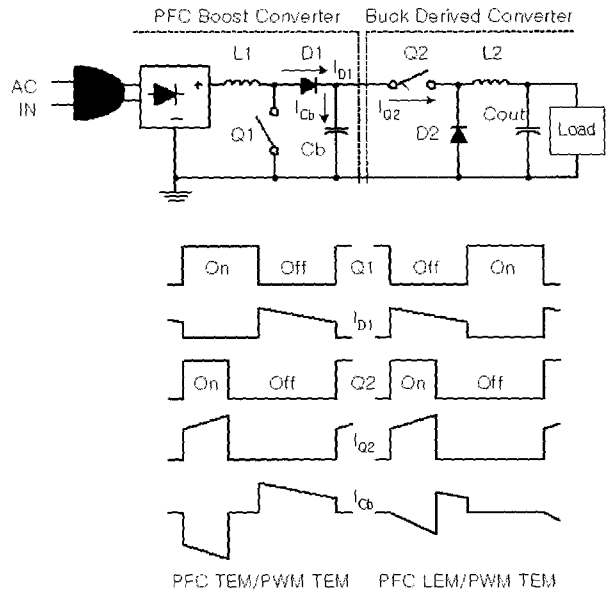


그림 10 PFC LEM/PWM TEM 방법

특히로서 이 방법을 사용하는 IC는 페어차일드의 ML4800, ML4824와 TI, Renesas, Infineon 등 여러 회사의 제품이 있다.

4. 향후 개발 방향

PFC IC는 규제의 강화로 사용이 증가될 것이다. 향후의 IC 개발은 저소비 전력, 저가, 사용의 편의성 향상, 고효율의 방향으로 나아갈 것이다. 그리고 보조 전원이나 PWM converter와의 결합을 통해서 PFC converter의 효율을 높이는 방법의 연구도 활발하게 진행될 것으로 보인다.⁶⁾

참고 문헌

- [1] "Design of Power Factor Correction Circuit Using FAN7527B", Fairchild application note AN4121.
- [2] "Theory and Application of the ML4821 Average Current Mode PFC Controller", Fairchild application note AN42030.
- [3] "FAN4822 Power Factor Correction with Zero Voltage Resonant Switching", Fairchild application note AN42032.
- [4] "ML4824, A Novel Method for an Off-Line PFC-PWM Combo Controller", Fairchild application note AN42045.

- [5] "Power Factor Correction (PFC) Basics", Fairchild application note AN42047.
- [6] Yungtaek Jang et al. "A New Soft-Switched PFC Boost Rectifier with Integrated Flyback Converter for Stand-by Power", APEC 2004.

〈 저 자 소 개 〉



김정원(金正原)

1970년 4월 16일생. 1994년 서울대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학부 졸업(박사). 2001년~현재 페어차일드코리아반도체 파워컨버전터 응용기술과장. PFC, PWM IC 개발 중.