

특점:전자식 안정기

전자식 안정기의 종류 및 회로동작

박종연

(강원대학교 전기공학과 교수)

1. 서론

전자식 안정기는 자기식 안정기에 비해 에너지 절약 등 많은 장점을 가지므로 형광등 조명 시스템에서 사용이 점차 증가하고 있다. 이러한 전자식 안정기의 대부분은 고 주파수에서 동작하도록 설계되는데 예를 들어 25KHz정도의 주파수에서 형광등의 광효율은 50~60Hz의 경우에 비해 약 20% 정도 증가하게 된다. 또한 전자식 안정기는 에너지 절감효과 외에 깜빡임이 적고, 무게 및 부피가 감소하는 장점을 가지고 있다.

반면 전자식 안정기의 전자부품에 대한 신뢰성, 내구성 및 노이즈(EMI, RFI)의 증가 문제 등이 앞으로 해결되어야 할 과제이다.

2. 동작 원리

전자식 안정기의 동작원리는 상용 교류전원 220V를 정류 회로에 의해서 직류 전원으로 변환한 다음 이것을 다시 스위칭 회로에 의해서 고주파의 교류 전원으로 만들고, 이렇게 만든 고주파의 교류 전원으로 형광등을 점등하는 것으로 일반적인 전자식 안정기의 개략도는 그림 1과 같다.

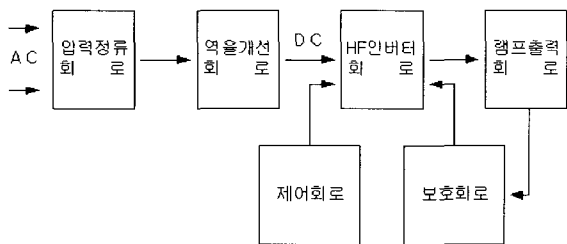


그림 1 일반적인 전자식 안정기의 개략도

2.1 입력 및 정류회로

2.1.1 개략도

입력회로는 교류 입력전원을 통해 들어오는 잡음을 제거하기 위한 잡음 제거 필터와 써지(surge)전압 억제를 위한VDR (Voltage Dependant Register) 그리고 교류를 직류로 변환시켜주기 위한 다이오드 및 캐패시터 등으로 이루어진 정류, 필터회로로 구성된다.

2.1.2 입력써지전압, 전류 및 EMI제거회로

SURGE 흡수회로는 전원 입력측으로부터 낙뢰나 순간적인 과전압 등 써지가 인입될 경우 이를 제거하여 2차측 회로를 보호해야 한다.

라인 필터는 빠른 스위칭 동작으로 발생하는 내부 NOISE를 인입 전원측에 흘러 들어가거나 발산되지 않도록 필터와 콘덴서의 X,Y형 회로 구성으로 EMI를 제거해야 한다.

2.1.3 Diode정류 및 필터회로

일반적인 전압 정류방식과 R,C필터에 의해서 Ripple을 줄이고 있으나 부피 및 가격의 측면에서 C의 용량이 제한을 받는다. 교류 60Hz 전압을 직류 전압으로 변환시키는 회로로서 트랜스리스(Transless) 콘덴서 Input 정류방식을 쓰는 것이 보통이다.

2.2 역률개선회로

역률개선회로를 쓰지 않는 경우에는 60%전후의 저 역률임을 감안하여 램프 동작 주파수 즉 고주파 전압에 의한 방식과 역보상용 전용 IC에 의한 방식으로 고역률화를 시키는 방식 및 다이오드 회로에 의하여 역률을 개선시킬 수 있다.

2.3 인버터 및 제어회로

직류 전원에서부터 고주파의 발진과형을 얻는 회로를 인버터 회로라고 하며 발진회로의 제어방식을 구동방식이라고 한다.

전자식 안정기는 발진기의 초기 작동 및 제어방식에 따라서 자려식과 타려식으로 나눌 수 있다.

2.4 램프출력회로 및 보호회로

램프에서 필요한 전압과 전류를 공급하는 것으로 LC 직렬 공진회로에 의해서 공급하며 램프의 상태의 변화에 따른 발열에 대비한 보호회로가 필요하다.

3. 자려식 발진

자려식 발진 방식은 다이악(Diac) 및 구동 코일로 구성되어 있고, 공진주파수는 인덕터와 커패시터에 의해 결정되며 일반적인 구조는 그림 2와 같다. 자려식 발진 회로는 입력전압의 크기에 따라 구동코일의 주파수가 바뀌는 단점이 있지만 회로구성이 쉽고 제조원가를 낮출 수 있기 때문에 현재 국내 안정기 업체에서 널리 쓰이는 방식이다.

초기발진은 그림 2에서 다이악의 도통 순간에 C_4 에 걸리는 충전전압에 의해서 발생하고, 형광등을 점등 상태로 가동하여 다음과 같이 설명할 수 있다.

3.1 인버터회로 초기동작

그림 2는 자려식 발진기를 이용한 전자식 안정기 회로로써 V_{cc} 가 R_1 , R_2 및 C_4 에 의하여 충전전압 $V_c(t)$ 를 만들게 된다. 이 때 $V_c(t)$ 가 $t = t_1$ 의 시각에 다이악(TD1)의 턴-온 전압 V_{on} 에 도달하여 다이악이 턴-온하여 스위칭 소자를 턴-온하게 된다.

초기발진이 그림 2의 다이악에 의해서 완료되면, Q_2 의 게이트에 적정 전류가 유입되어 Q_2 가 turn-on되어서 그림 2의 Y점의 전위는 Z점의 전위(0전위)로 바뀌게 되며, Q_2 가 턴-온 되는 순간부터 L_2 측으로 전류가 흐르게 된다. 그림 3에서 L_2 측에 전류가 " "방향으로 흘러 나오는 동안 L_1 에 전류가 증가하게 되고 어느 정도 증가하면, Q_1 이 turn-on된다. Q_1

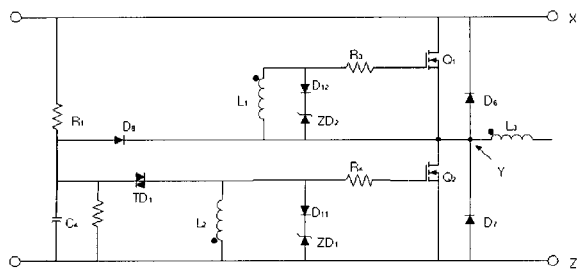


그림 2 자려식 구동회로

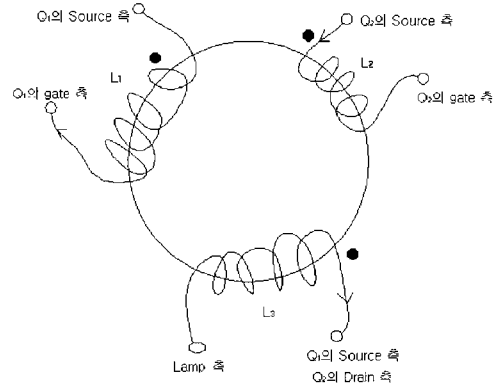


그림 3 L_1 , L_2 , L_3 의 상호작용

이 turn-on되면 그림 2의 Y점의 전위는 X점의 전위로 반전하게 된다. 이 때 Y점의 전위가 높아지면, L_1 과 L_2 의 전류는 감소하고 L_2 의 전류는 증가하여 적정 시간후에 Q_1 이 turn-off 되고 Q_2 는 turn-on 된다.

4. 타려식 발진

타려식 발진 방식은 제어 IC를 이용한 스위칭으로 일정한 주파수의 공진과형을 만들어주는 것으로 일반적인 구조는 그림 4와 같다. 타려식 발진에서는 형광등의 수명에 관계된 문제점을 간단하게 극복할 수 있는 장점이 있다. 즉 제어 IC를 이용하여 램프 방전초기 상태에서는 출력 L,C의 공진점보다 높은 주파수로 동작시키고 점차로 공진점으로 주파수를 접근시키면 형광등 필라멘트에 가해지는 악 영향을 줄일 수 있으며 제어 IC의 간단한 응용으로 램프수명 말기에 스위칭 디바이스의 과전류를 제한 할 수 있다.

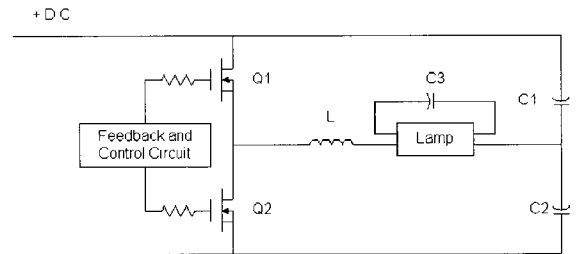


그림 4 타려식 구동회로

5. 인버터 회로

전자식 안정기의 인버터 회로는 크게 Half Bridge방식과 Push Pull방식으로 나눌 수 있으며, 국내에서 상용되는 전자

식 안정기의 인버터 회로는 대부분 Half Bridge방식을 많이 사용하고 있다. Half Bridge방식은 스위칭 소자의 정격전압이 높지 않아도 되고, Voltage Doubler 구성으로 100/220V 겸용 회로를 구성하기가 쉬우며 기본회로는 그림 2 및 그림 4와 같다. 반면에 Push Pull방식은 전압, 전류의 Zero Crossing이 가능하며 스위칭 손실은 아주 작으며 내압이 큰 소자를 사용해야 하는 결함을 갖고 있다.

정류된 직류전압을 고주파인 25kHz로 이상의 구형파로 변환하는 Half Bridge 방식의 회로로 구성된다. 스위칭 소자로서 그림 2의 TR보다 SOA(안전한 동작영역)가 넓고 신뢰성이 높은 그림 4의 FET로 "0" 전압 스위칭에 의한 스위칭 손실을 줄여 변환 효율 증가 및 제품의 내구성을 높일수 있으나 가격이 비싸진다.

6. 역률 보상 회로 및 THD

6.1 역률의 의미

형광램프를 위한 전자식 안정기와 같이 입력단에 전파정류와 평활용 커패시터가 사용되었다면 기존 $\cos\theta$ 의 역률과 같이 정의할 수 없다.

전파정류시 나타나는 입력 전류의 형태는 전원전압의 크기가 전압 평활용 커패시터에 충전되어있는 전압 크기보다 클 때에만 흐르는 형태를 갖기 때문에 입력 전류가 고조파들을 포함하고 있다. 이러한 고조파들은 무효전류를 발생시키게 되고, 이 추가적인 무효전류로 인해서 실효전력의 양은 감소하게 된다.

입력 전류가 갖는 고조파 성분에 의해서 나타나는 무효전력의 양을 도식적으로 표현하면 그림 5와 같다.

그러므로 전체적인 역률값은 기본파와 고조파 성분이 함께 영향을 끼치고 그림 5에서와 같이 기본파 성분에 의한 피상전

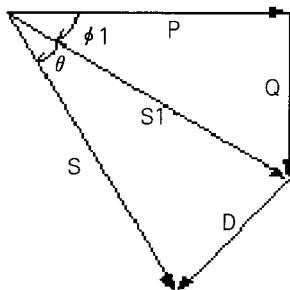


그림 5 고조파 함유 따른 역률

- P : 기본파에 의한 실효전력
- Q : 기본파에 의한 무효전력
- S_1 : 기본파에 의한 피상전력
- D : 고조파 성분에 의한 distortion factor
- S : 전체 피상전력

력 S_1 성분과 전체 고조파 성분이 갖는 distortion factor(D)가 포함된 $\cos\theta \cos\phi_1$ 값이 된다. 순수한 정현파의 경우에는 고조파 성분을 포함하고 있지 않으므로 distortion factor 값을 고려할 필요가 없다. 그러므로 순수한 정현파가 가지는 역률은 기본파 성분에 의한 실효전력과 무효전력이 나타내는 $\cos\phi_1$ 이다.

6.2 수동역률 보상회로

6.2.1 밸리필(Valley fill) 역률 개선 회로

밸리필 회로의 기본 회로는 그림 6과 같으며

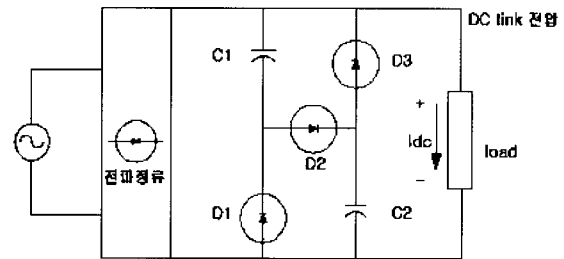


그림 6 기본적인 밸리필 회로

밸리필 회로내 커패시터 C1, C2가 충전하는 전압을 DC link 전압이라 정의하며 이 전압의 크기와 입력전압의 크기에 따라서 밸리필 회로의 동작이 바뀐다. DC link 전압이 가지는 범위는 입력전압의 1/2을 최소값으로 가지며 인가전압의 최대값 보다 작은 범위를 갖는다.

커패시터 C1, C2가 충전이 이루어지는 기간은 입력전압이 C1, C2에 충전되어 있던 충전 전압보다 커서 전파 정류 다이오드가 도통이 될 경우이다. 정류 다이오드가 도통되므로 커패시터가 가지는 임피던스 상태는 짧은 순간 작은 값을 갖게 되고, 이때에 갑작스런 충전 전류가 흘러 커패시터가 충전되는 현상인 돌입전류(Inrush current)가 흐르며 이것을 방지하기 위한 방법이 강구되고 있다.

6.3 능동 역률 개선 회로

그림 7과 같은 PFC IC를 사용한 능동 역률 개선 회로는 보통 승압형 컨버터 회로를 많이 사용한다.

능동 역률 개선 회로의 특징은 주 스위치로 사용되는 FET의 손실이 크고, 부가적인 전력소자와 수동소자가 수동 역률 개선회로에 비해서 많이 필요하고 제어회로로 높은 삼각파 형태의 인덕터 전류를 만들어 동작을 시키기 때문에 손실이 많다. MOS FET turn on time을 그림 8과 같이 조절하므로써 입력 전압 파형과 같은 peak 인덕터 전류를 갖게 만든다. MOSFET turn on time은 인덕터에 감겨진 2차측 권선의 전압 극성을 이용해서 zero 전류 상태를 인식하고 인덕터에

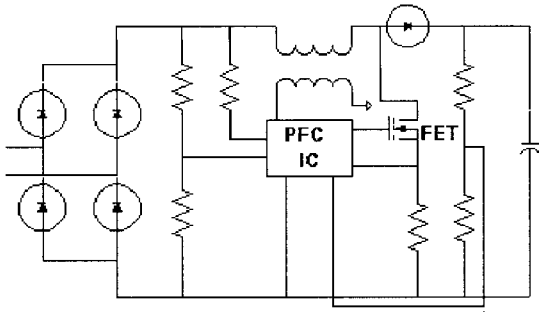


그림 7 능동 역률 개선 회로의 기본 개략도

유기된 삼각파 형태의 신호에 의해서 역률 개선 회로는 동작한다.

6.4 결과 검토

실험결과에서 보면 수동형 역률 개선 회로를 사용했을 때도 역률은 최저 0.90 이상을 유지한다는 것이 나타났다. 또한 벨리필형 역률 개선 회로에서는 돌입 전류 제한용 저항을 가변함에 따라 역률값도 가변된다.

입력단에 전파 정류를 사용하고, 높은 주파수로 점등되는 전자식 안정기에 역률 개선 회로를 첨가하지 않으면 역률값은 약 0.5정도를 유지하고 입력전류가 갖는 고조파 함유율은 180%를 넘는 결과가 나온다.

이렇게 많은 고조파 성분을 포함한다면 높은 역률값을 얻을 수 없다. 또한 많은 고조파 성분은 다른 전자기기에도 영향을 끼칠 수가 있다. 그러므로 수동형 또는 능동형 역률개선 회로를 반드시 첨가해야 한다.

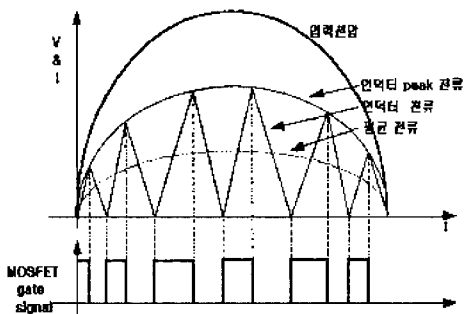


그림 8 인덕터 전류와 MOSFET gate의 제어

7. Dimming 안정기원리 및 제어방식

형광등을 Dimming시키는 안정기의 원리는 그림 9와 같은 안정기에서 발진회로의 발진 주파수를 고정하고 공진회

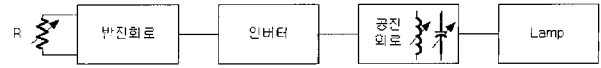


그림 9 전자식 안정기의 Dimming 원리

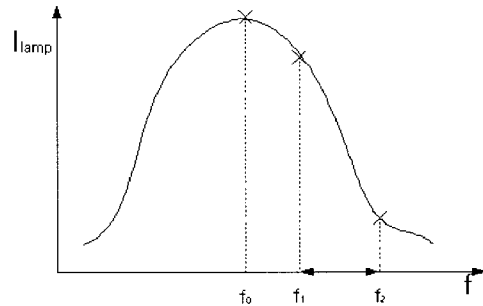


그림 10 공진 특성

로의 L과 C중에 한 개의 요소를 조정하여 발진 주파수를 변화시키는 방법과 공진회로의 공진 주파수는 고정하고 발진회로의 발진 주파수를 가변시키는 두 가지 방법이 있다. 일반적으로 발진 주파수를 변화시키는 방법이 용이하며 정확하다.

공진회로의 공진특성이 다음 그림 10과 같다면 타력식 전자 안정기의 발진회로에서 발진주파수를 $f_1 \sim f_2$ 사이에서 발생하도록 하여 Dimming을 한다.

여기서 주의 할 사항은 공진회로의 C의 용량 감퇴현상을 고려할 때 f_0 의 값이 커질 수 있으므로 $f_1 \sim f_2 \geq 0.1f_0$ 가 되도록 하면 안정된 Dimming회로가 된다.

8. Metal-Halide lamp 용 전자식 안정기 및 Ignitor

일반 형광 lamp용 전자식 안정기의 원리와 크게 다르지 않으며 출력이 커지기 때문에 열이 많이 나며 점등을 위한 방전 전압이 커야 된다.

특히 Metal-Halide lamp에서는 음향 공명 현상의 제거 문제가 핵심기술이고 Ignitor 부분이 중요한 역할을 한다.

8.1 고주파 인가 방식

이 같은 음향공진을 방지하는 방식에는 음향공진 영역을 벗어나는 고주파를 인가하는 방식이 있다. 대체로 제1차 기본 공명 점등 주파수에 대해 고압방전등의 경우 수은등이 19재, 나트륨등이 14배, 메탈할라이드등이 25배 이상이면 공명현상이 나타나지 않는다. 따라서 250W일 경우 수은등 50kHz 이상, 메탈할라이드등 77kHz 이상, 나트륨 등 63kHz 이상의 주파수를 인가하면 되지만 고주파 점등의 경우 발생하는 switching 손실과 EMI 발생이 문제점이다.

8.2 주파수 변조 방식

고주파 및 저주파전압을 시분할로 인가하여 공진을 피하는 방식으로 주파수 변조 방식이라고 부르며 공명에너지의 에너지 감쇠효과를 이용하여 고주파 공명영역의 주파수와 저주파 비공명 영역의 주파수 전압을 차례로 인가하는 방식이다.

8.3 구형파 점등 방법

세 번째는 구형파 점등방식이 있으며, 음향공명 현상이 일어나는 이유는 램프에 인가되는 전력의 순시치 변화에 의한 것이다. 따라서 이 순시치 변화를 없애는 방법이 램프에 구형파를 인가하는 방법이다. 이 방법은 광출력이 안정되어 있다. 그러나 이 방법 역시 고주파 점등이기 때문에 구형파에 의한 방사 잡음이 문제시된다.

8.4 점화기회로

여러 가지 점화기 회로 가운데 Metal-Halide lamp에 적합한 2종류 Ignitor 회로를 해석하고 제작하여 실험한 결과 바람직하다고 판단된 점화기-A, 점화기-B가 있으며 각각 그림 11과 그림 12와 같다.

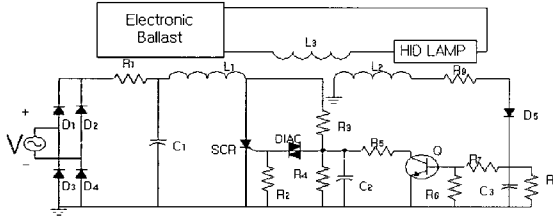


그림 11 점화기-A의 회로

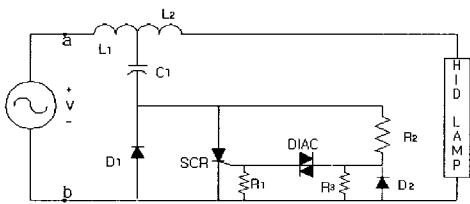


그림 12 점화기-B 회로

9. 전자식 안정기의 EMI 및 제거회로

형광등용 안정기 분야에서 에너지 절약이란 시대적인 요구에 따라 절전효과가 큰 전자식안정기가 등장하여, 재래식인 자기식(Magnetic) 안정기를 급속히 대체하고 있는 추세이다. 이러한 전자식 안정기는 에너지효율이 우수하고, 소형화가 가능하고, 경량화가 가능한 것 등이 장점이나, 신뢰성이 떨어지고, 고 가격이며, 특히 고주파를 사용함에 따라 전자파 장애를 일으킨다는 점이 큰 단점으로 대두되고 있다.

9.1 잡음의 발생원리

전기, 전자기기에서 발생하는 이러한 전자파 노이즈는 전류 I나 전압 V가 변화되는 부분, 바꿔 말하면 di/dt나 dv/dt가 있는 부분에서 발생한다. 이러한 측면에서 전자식 안정기는 자기의 기능을 실현하기 위해서는 시간적으로 변화하는 전기량을 사용하고 있으며 이로 인하여 필연적으로 전자파 노이즈를 발생한다고 볼 수 있다.

또한, 이 노이즈 전압 V_n 은 특히 스위치나 스위칭 TRI Off시, 회로의 임피던스가 높을수록 큰 값이 된다. 실제 설계에 있어 배선이나 프린트 기판 패턴 형태에 의한 "L"도 있을 수 있기 때문에, 최단거리 배선 패턴 형태로 하는 것이 노이즈 감소를 위한 중요한 포인트가 된다.

9.1.1 커먼모드(Common Mode) 노이즈

제품에서 Hot 또는 Neutral 라인에서 GND 또는 대지로 흐르는 경로를 갖는 노이즈로서 실제 Hot 라인과 Neutral 라인에 같은 방향으로 나타나는 노이즈이다.

9.1.2 노멀모드(Normal Mode) 노이즈

전원라인에서 Power Source와 중첩되어서 나타나는데, 그 흐름의 경로는 Hot Line에서 기기를 통해서 Neutral Line으로 또는 그 반대방향을 갖는다. 즉 한쪽의 라인에서 상대편의 노이즈 방향을 보면 항상 반대방향으로 흐르는 노이즈 전류를 구성하는 노이즈이다.

9.2 EMI제거용 Filter설계 및 특성해석

EMI필터는 방사 Noise를 제거할 수 없고 전도 Noise만 제거할 수 있으며, Filter의 구조는 그림 13과 같으며 구체적 회로는 그림 14와 같다.

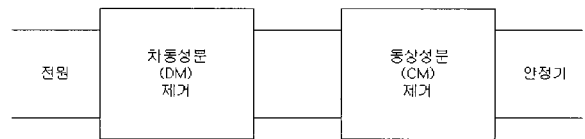


그림 13 EMI제거 필터구조

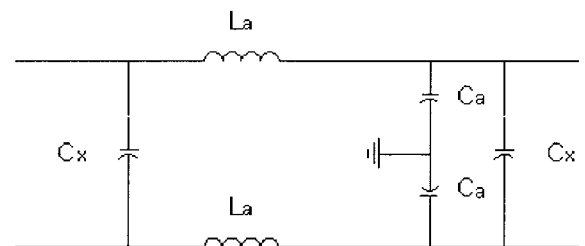


그림 14 EMI 제거회로

9.3 EMI-filter 설계상 유의사항

Filter의 설계 과정에서 무엇보다 중요한 것은 특성에 적합한 L과 C들의 정확한 값이며 L의 제조과정에서 core의 재질 및 coil에 관한 Turns수의 정확성이 요청된다.

즉 filter의 규격에 맞는 전달 특성을 Network Analyzer에 의해서 측정하여 제조하여야 한다. 그러나 그림 14의 회로 1 단으로는 원하는 EMI규격을 만족할 수 없는 경우 2단으로 하여야 한다.

10. 특성 검토 및 전망

전자식 안정기 역시 품질경쟁보다 가격 경쟁 때문에 그 장점을 크게 부각시키지 못하고 연구 개발 부분이 침체되었으며 대부분 기업별로 독특한 회로를 갖지 못한 결함이 있다.

1) 자려식안정기는 타려식보다 안정성은 낮지만 발전 주파수의 변동으로 인한 결함이 나타나고 특히 Ring-core의 품질의 불균일성이 심하여 전기적 특성을 향상시키는데 한계가 있다. 따라서 반도체 소자 품질의 고급화 및 에너지 절약의 차원에서 타려식으로 발전할 가능성이 크다.

2) 역률개선회로는 수동역률개선회로와 PFC IC를 이용한 능동역률개선회로에서 THD를 줄이는 문제와 함께 향후 연구 개발 해야할 과제가 많다.

능동역률개선회로에 의해서 역률개선이 용이하다지만 In-rush current 발생 및 타소자의 영향이 큰 결함이 있으므로 자려식에서는 수동역률개선회로가 더욱 발전적으로 생각되며 타려식은 능동역률개선이 중요하다.

3) HID와 같은 특수 lamp용 전자식 안정기에서는 회로보다는 소자의 선택이 중요하며 특히 Ignitor 부분에서 점화과정에서 다른 소자에 영향을 크게 미치는 점을 유의하여 설계하여야 한다. 특히 Metal-Halide lamp용 전자식 안정기에서 공명현상의 제거기술은 시급히 해결해야할 과제이다.

4) Dimming 안정기는 빌딩 자동화의 공조와 조명제어의 측면에서 대단히 중요하게 확대보급할 가능성이 크다.

마이크로프로세서에 의한 현재 국내에서 개발된 Dimming 안정기의 원리는 타당한 것으로 밝혀졌으며 안정성이 확인된다면 에너지 절약에 기여할 것으로 생각된다. 향후 전력선 제어에 의해서 공조와 집단조명제어가 이루어질 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] Kang, Young-goo, "Design Techniques of Electronic Ballast for Fluorescent Lamp", 중소기업진흥공단 세미나 자료, 1998. 8.
- [2] Marcio Almeida Co. and etc, "High-Power-Factor Electrical Ballast Operating in Critical Conduction Mode", IEEE. Trans. Power Electronics. Vol.13, No.1, pp.93~101, jan. 1998.
- [3] Sam Ben-Yaakov, and etc., "The Simplest Electronic Ballast for HID Lamps", proc, IEEE. pp.634~640. 1996. 8
- [4] H. Ohguchi and etc, "A High Frequency Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE Trans on Power Electronics vol.13, No.13, pp.1023~1029, NOV. 1998.

〈 저 자 소 개 〉



박종연(朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박사). 1973년~1977년 KIST 연구원. 1977년~1984년 울산대 공대 부교수. 현재 강원대 전기공학과 교수.