主 題

통신기기용 정류기의 기술 현황 및 발전 방향

HEX파워시스템 김 희 일, LG산전 연구소 정 용 호

차 례

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 통신기기용 정류기
Ⅲ. 현황 및 발전방향
Ⅳ. 결론

1. 서 론

통신시스템은 과거 기계식 교환기에 의한 유선 통신을 시작으로 나날이 발전을 거듭하여 최근에는 다양한 종류의 무선통신시스템, 위성통신시스템들이 상용화되어 음성 신호 뿐만 아니라 영상 신호를 전송하는 등 고집적화, 고기능화, 대용량화된 통신시스템으로 발전되어 왔다. 이와 더불어 통신시스템의 에너지원인 정류기도 고신뢰성 및 고품질에 대한 요구가 증가되고 있다.

또한 반도체 및 집적회로 기술의 발전으로 교환기 등 통신시스템의 대부분은 소형경량화가 이루어져 저가격화 할 수 있으나 정류기 등의 전원장치는 전력을 다루는 부분으로 집적회로 기술만으로는 소형경량화에 어려움이 있다. 이러한 요구에 의해 등장한 스위칭 방식 전원장치(Switching-Mode Power Supply ;SMPS)는 고주파 스위칭을 통해 변압기, 리액터, 커패시터 등 수동전력소자를 소형경량화 할 수 있으나, 스위칭 노이즈의 발생 등으로 인하여 전원의 품질면에서 한계를 가진다.[6] 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위하여 공진 현상을 이용한 전원장치의 개발 및 실용화가 진행되고 있다.[1~4]

이와 함께 최근에는 고조파에 대한 국제 규제의 강화 움직임에 따라 역율 보상회로[5]의 채택이 고려되고 있으며 원활하고 경제적인 관리를 위한 원격지 제어 기술과 유지/보수의 편의성 및 경비 절감을 위한 자기 진단 및 이력관리, 축전지 제어 등의 기술이 정류기에도 채택되고 있다.

또한 신뢰성 향상을 위한 분배전원시스템(Distributed Power System ;DPS)으로의 전환 및 잉여전원시스템(Redundant Power System)화가 강화되고 있다.

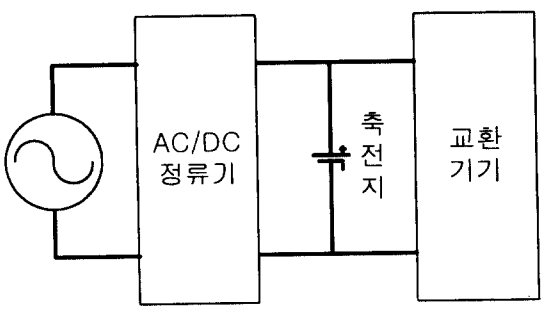
2. 통신기기용 정류기

2.1. 통신기기용 전원의 구성

통신기기의 전원장치는 품질과 신뢰성 및 경제적인 요소를 고려하여 정류기를 이용한 직류 공급 방식을 주로 채택하고 있다.

그림1은 직류 공급방식 통신기기용 전원장치의 개략도이다. 정류기는 교류 상용전원을 교환기기에 필요한 직류전원으로 변환하여 공급하는 기기이고, 축전지는 평상시에 정류기로부터 에너지를 공급받아 축전하였다가 상용전원의 정전시에 축전된 에너지를 교환기기에 공급하는 예비전원으로 사용된다.

(그림 1) 통신기기용 전원장치의 개략도



2.2. 통신기기용 정류기의 종류

통신기기용 정류기는 통상적으로 전압을 정류하는 주회로 및 제어 방식에 의하여 구분된다. 현재 국내의 통신 설비에 적용되고 있는 방식을 중심으로 살펴보기로 한다.

2.2.1. 위상제어 정류기

위상제어 정류기는 국설교환기에 주로 사용되었던 방식으로 정류소자로 싸이리스터를 사용하여 싸이리스터의 위상각을 제어하여 정류하는 방식이다. 이 방식은 싸이리스터의 도통시간동안 고조파가 발생하는 단점이 있고 스위칭 주파수가 상용주파수로 제한되어 소형경량화의 한계로 사용이 점점 감소하고 있다.

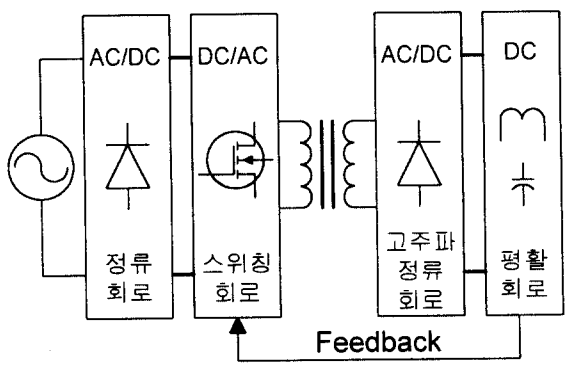
2.2.2. 철공진형 정류기

철공진형 정류기는 철공진 변압기의 가포화 특성을 이용한 정류기로 주로 대용량의 국설교환기에 채용되었다.

2.2.3. 고주파 스위칭 정류기

소형 경량화하기 위하여 고주파화가 용이한 SMPS(Switching Mode Power Supply)의 기술을 적용한 정류방식으로 그림2와 같이 상용 교류 입력전압을 직접 정류한 후 얻어진 직류 전압을 스위칭 소자로 MOSFET나 IGBT를 사용하여 수십kHz~수백kHz의 고주파수로 스위칭하고 고주파 변압기를 통해 2차측으로 전압을 변환하여 전달하고, 이 전압을 정류하여 원하는 직류전압을 얻을 수 있도록 궤환(Feedback)회로를 통해 스위칭 소자의 구동 펄스폭을 제어하는 방식의 정류기이다.

(그림 2) 고주파 스위칭 정류기의 구성



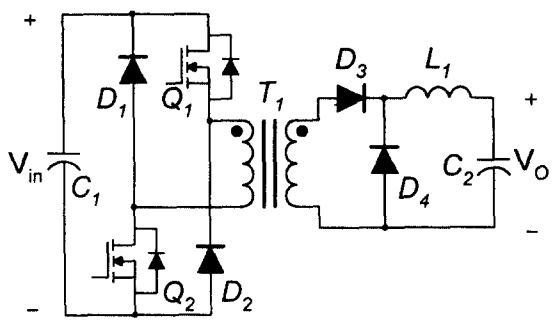
이 방식은 위상제어 정류기에 비하여 고조파의 발생을 줄일 수 있고, 고주파 스위칭이 가능하여 소형경량화가 용이하며 정전압 특성의 향상 등 많은 장점이 있다. 또한, 정류기 모듈을 랙 형태로 병렬 구성하여 부하를 분담하도록 하는 구성이 용이하여 전원의 신뢰성을 향상할 수 있고 잉여전원시스템으로의 확장도 간단하여 유선통신기기 뿐만 아니라 무선통신기기에도 사용이 증가하고 있다.

고주파 스위칭 정류기는 1차 정류된 직류전압을 원하는 직류전압으로 변환하는 컨버터에 사용되는 회로 방식에 따라 다음과 같이 구분된다.

(1) Two Transistor 포워드 컨버터 방식

하나의 스위칭 소자를 사용한 기존의 포워드 컨버터 방식이 주스위치가 차단되는 동안 변압기의 포화를 방지하기 위한 회로가 필요하고 스위치의 전압스트레스가 증가하며 누설인덕턴스에 의한 스파이크성 Ringing이 야기되어 성능 및 신뢰성이 저하되므로 이를 보완하기 위하여 그림3과 같은 Two Transistor 포워드 컨버터 방식의 주로 사용한다.

(그림 3) 포워드 컨버터 방식의 회로도

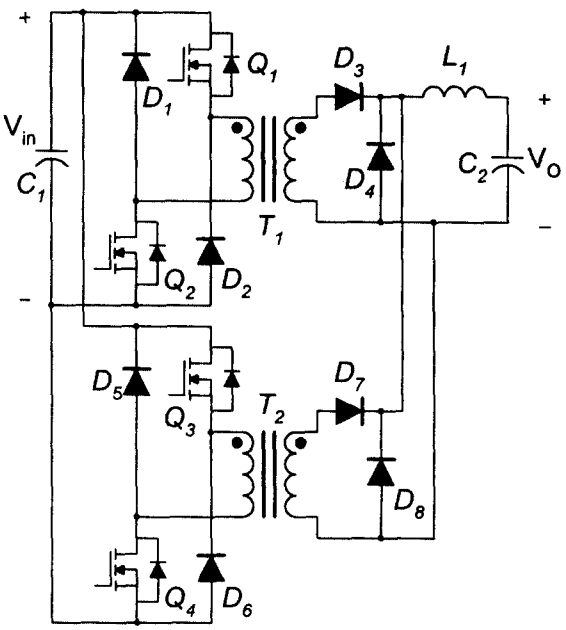


동시에 구동하는 스위치Q_1, Q_2가 도통시 변압기를 통해 2차측으로 에너지를 전달하여 포워드 다이오드 D_3으로 반파 정류하고 L_1과 C_2으로 구성된 저역통과 필터로 평활된 직류전압을 부하에 공급한다. 스위치가 차단되면 변압기의 누설인덕턴스에 축적된 에너지는 다이오드 D_1과 D_2를 통해 커패시터 C_1으로 회생되므로 스위치에 스파이크성 전압을 유기하지 않고 입력전압으로 클램프된다. 이 구간 동안은 1차측에서 2차측으로 전달되는 에너지가 없으므로 프리휠링 다이오드 D_4를 구성하여 인덕터 L_1에 축적된 에너지를 부하에 공급한다.

이 방식은 누설 인덕턴스로 인한 신뢰성 저하를 막을 수 있는 장점이 있지만 변압기의 포화 방지를 위해 스위치의 구동시간을 스위칭 주기의 50%이내로 제한하여야 하므로 변압기의 이용율이 떨어져 소형화에 제약이 되고 수백 와트 이상의 대용량 정류기에 적용하기는 부적합하다.

대용량 정류기에는 그림4와 같이 2개의 컨버터를 출력필터부에 병렬로 연결하여 출력 평활 필터의 이용율을 높이도록 구성한 Two Transistor 더블 포워드 컨버터 방식이 주로 적용된다.

(그림 4) Two Transistor 더블 포워드 컨버터 방식의 회로도



기본적인 회로의 동작은 Two Transistor 포워드 컨버터와 동일하고 스위치의 차단구간동안 다른 하나의 포워드 컨버터가 동작한다. 동시에 구동되는 스위치Q_1과 Q_2, 그리고Q_3과 Q_4를 교대로 구동하면서 도통시 각각의 변압기를 통해 2차측으로 에너지를 전달하여 각각 포워드 다이오드 D_3과 D_7로 정류하고 저역통과 필터로 동시에 평활한다. 이 때 필터에는 스위칭 주파수의 2배인 주파수의 전압이 걸리므로 소형화된 필터 설계가 가능하다.

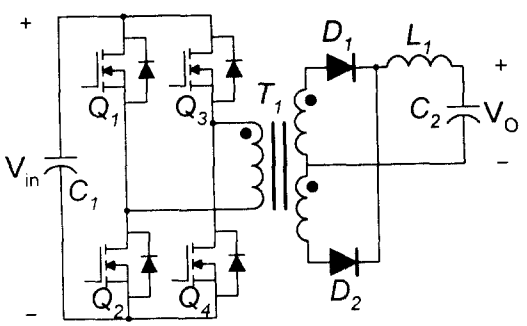
이 방식은 2개의 포워드 컨버터를 병렬로 사용하는 것 보다는 출력 필터를 스위칭 주파수의 2배의 주파수로 공용으로 사용하여 크기 및 가격에 장점이 있으나, 단방향으로만 자속이 유기되도록 동작하는 이용율이 낮은 2개의 변압기를 사용하게 되어 소형화에 제약이 되지만, 신뢰성을 높일 수 있고 제어가 용이하며 일정 수준의 소형화가 가능하여 국내에서 생산되는 대부분의 고주파 스위칭 방식

통신기기용 정류기에 적용되고 있는 방식이다.

(2) 풀브리지(Full-Bridge) 컨버터 방식

풀브리지 컨버터 방식은 변압기에 양방향으로 자속이 유기되어 동작하므로 이용율을 높일 수 있고 출력 평활회로는 스위칭 주파수의 2배로 설계되므로 대용량 전원의 소형 경량화에 가장 적합한 회로 방식이다.

(그림 5) 풀브리지방식의 회로도



풀브리지 컨버터는 그림5와 같이 대각선으로 위치하여 동시에 구동되는 스위치Q_1과 Q_4, 그리고 Q_2과 Q_3가 교대로 스위칭하여 변압기를 통해 2차측으로 에너지를 전달하고 전파정류회로와 저역통과 필터로 구성된 평활회로를 통해 직류전압을 얻는 형태로 구성된다. 이 때, 변압기에는 스위치 Q_2과Q_3이 도통되는 동안은 정방향으로 자속이 유기되고 스위치Q_1과 Q_4가 도통되는 동안에는 역방향으로 자속이 유기되므로 양방향으로 에너지를 전달하므로 변압기의 이용율을 높일 수 있다.

하지만 이 방식은 암단락을 막기위해 쌍으로 동작하는 스위치의 구동 펄스간에 지연시간(Dead Time)이 반드시 필요하다. 4개의 스위치가 모두 차단되는 지연시간에는 스위치가 도통되는 시간동안 변압기의 누설인덕턴스에 축적된 에너지가 소모될 통로가 없어져 스위치의 기생 커패시턴스와 공진하여 스파이크성 Ringing을 발생시키므로 이를 억제하기 위한 별도의 스너버회로가 필요하고 4개의 스위치를 구동하기 위하여 절연된 보조전원와 구동회로가 필요한 등 회로의 구성이 다소 복잡한 단점이 있다.

(3) 공진형 방식

직류 변환에서 변압기의 누설 인덕터스와 스위칭 소자의 기생 커패시턴스는 스파이크성 Ringing을 야기하여 소자의 스트레스를 증가시켜 성능을 저하시키고 과도한 노이즈 발생의 원인이 될 뿐만 아니라 스위칭 손실 또한 증가시켜 고주파화에 제약이 된다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 기생성분들을 이용한 공진 현상을 통해 스위칭 소자를 영전압 스위칭(Zero Volt Switching ;ZVS) 또는 영전류스위칭(Zero Current Switching ;ZCS)하여 성능과 효율을 향상시키는 여러가지 방법이 고안되어 상용화가 진행되고 있다.[1~4]

그 중 준공진형(Quasi-Resonant) 및 다중공진형(Multi Resonant) 방식은 모든 기생성분을 주회로에 흡수할 수 있는 장점이 있으나 가변 주파수 제어 방식으로 자성소자 및 필터의 최적화 설계에 제약이 있고 스위칭 소자의 전압 혹은 전류 스트레스가 기존의 펄스폭변조(Pulse Witch Modulation ;PWM) 방식보다 수배가 되는 단점이 있어 대용량의 전원에는 사용이 부적합하다.[1~2]

최근에는 기존의 펄스폭변조 방식의 제어 기법을 유지하면서 스위칭 순간에만 영전압 혹은 영전류 스위칭이 가능하도록 하는 ZVT (Zero Voltage Transition) 또는 ZCT(Zero Current Transition) 방식들이 고안되었다.[3~4] 이러한 개념을 응용하여 그림6과 같은 ZVT 풀브리지 컨버터를 구성하면 기존의 포워드 방식의 소형화에 대한 제약과 풀브리지의 기생 성분에 의한 성능 저하 등의 단점을 동시에 해결할 수 있는 수 kW급 이상의 안정된 대용량 정류기도 소형경량화하여 설계가 가능하다.

이 방식은 일부 선진국에서는 상용화가 이루어졌고 국내에서는 몇몇 업체가 통신기기용 정류기에 적용하기 위하여 개발중이다.

(그림 6) 공진형 풀브리지 방식의 회로도

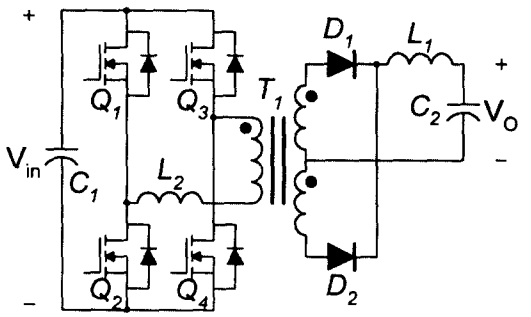


그림6은 기본적인 ZVS-PWM 풀브리지 컨버터의 회로이다. 이 회로는 각각의 스위치의 시비율을 고정하고 스위치Q_1와 Q_2의 구동신호를 각각 스위치 Q_4와 Q_3의 구동 신호에 대하여 시간 지연을 갖도록 제어하여 이 시간동안 누설인덕턴스에 저장된 에너지가 스위치의 바디다이오드(Body-Diode)를 통해 순환하게 되어 스위치의 기생 커패시턴스에 저장된 에너지를 방전시킨다. 그러므로, 누설인덕턴스에 저장된 에너지가 기생 커패시턴스에 저장된 에너지를 충분히 방전시킬 만큼 크고, 방전된 후 지연된 스위치들을 구동하도록 제어하면 스위칭 소자들이 영전압 스위칭을 하게 된다. 이 때 변압기 외부에 추가로 공진인덕터 L_2를 추가하여 원활한 영전압 스위칭을 보장되도록 설계한다. 이 방식은 구성과 제어가 다소 복잡하나 우수한 성능과 품질을 얻을 수 있으므로 향후에는 주류를 이루게 될 것이다.

3. 현황 및 발전 방향

3.1. 소형 경량화 및 품질 향상

현재 국내의 유무선 통신설비에 적용되고 있는 정류기는 Two Transistor 더블 포워드 방식의 고주파 스위칭 정류기가 주류를 이루며 기존의 위상제어 정류기와 철공진형 정류기를 대체해 가고 있다. 향후에는 부피와 중량을 Two Transistor 더블 포워드 방식의 약 2/3이하로 줄일 수 있으며 노이즈의 발생을 줄여 전원의 품질을 향상시킬 수 있는 풀브리지 방식의 공진형 정류기가 개발과 함께 주류를 이루게 될 것으로 사료된다.

3.2. 잉여 전원시스템화.

전원의 고장으로 인한 통신시스템의 업무 장해는 매우 심각한 결과를 초래 할 수 있다. 그러므로 이를 방지하기 위하여 정류기를 모듈화하여 병렬로 구성하는 등 자체의 신뢰성 향상이 필수적일 뿐만 아니라 전원시스템의 이중화를 통해 신뢰성 향상을 도모하고 있다. 최근에는 더 높은 신뢰성을 위하여 잉여전원시스템의 개념이 도입되고 있다. N개의 전원 모듈이 요구되는 곳에 1개의 잉여 모듈을 추가 설치하여 N+1개의 잉여전원시스템으로 구성하면 어떤 전원 모듈의 고장시에 잉여 모듈이 무순단으로 전력을 공급하게 하므로 전원의 신뢰성을 향상 할 수 있다. 이 때 전원의 모듈의 수 N은 경제성과 신뢰성 향상을 고려하여 적절히 선정하여야 한다.

3.3. 역율 및 고조파 보상회로의 채택

최근 EU지역에서는 국제 전기표준협회(International Electrotechnical Commission; IEC) 규격을 기본으로 한 EN규격을 제정하여 전원의 고조파에 대한 규제를 시행하는 있고, 국내에서도 곧 역율과 고조파에 대한 규제가 시행될 예정이다.

현재 사용되는 고주파 스위칭 정류기에는 그림2와 같이 상용전원을 다이오드로 정류하고 대용량의 커패시터로 평활한 전압을 다시 직류-직류변환하여 원하는 직류 전압을 얻는 것으로 구성된다. 이 때 커패시터는 용량이 커질수록 정류된 직류전압변동을 줄이고 순시정전을 억제할 수 있으나, 순시치가 큰 불연속 전류가 흐르게 되어 입력전압이 왜곡되고 전류의 고조파 성분이 많아지며 역율이 나빠진다. 특히 단상입력의 브리지 정류회로는 역

율이 약 0.7정도로 별도의 역율보상회로를 반드시 추가하여야 한다.

(그림 7) 단상입력 역율보상회로의 기본회로

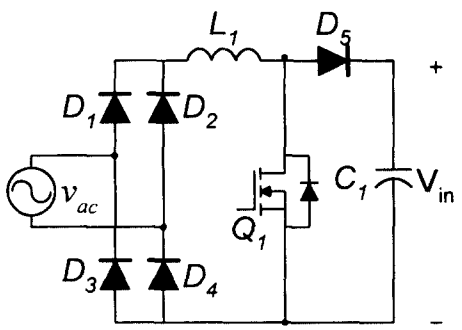


그림7은 단상입력의 역율보상회로에 보편적으로 사용되는 승압형 초퍼(Boost Chopper)이다. 이 방식은 60Hz의 상용전원을 수십kHz 이상의 고주파수로 스위칭하여 입력전류의 평균값이 입력전압과 동상인 정현파가 되도록 제어하는 방법이다.

3.4. 운용 및 관리 시스템의 강화

3.4.1. 원격 제어 및 관리

현재의 통신기기용 정류기는 정상 동작시에는 표시부에 현재의 동작상태값만 표시하고, 고장이나 장애 발생시 고장을 표시하고 A/S에 무선호출 경보를 보내는 정도의 기능을 내장하고 있는 반면, 향후에는 자체에 내장된 프로세서를 통해 자기진단 기능을 설정하여 실시간 계측으로 정류기 시스템에서 발생하는 제반사항에 대한 이력관리를 행하고 모뎀이나 이더넷(Ethernet Card) 카드를 이용하여 중앙의 집중 관리시스템과 연계하여 원격 제어 및 관리가 가능하도록 하게 될 것이다. 특히, 운영 경비 절감을 위하여 무인 교환국/기지국이 증가할 것으므로 원격 제어 및 관리 체계에 대한 필요성은 점점 증가하게 될 것이다.

3.4.2. 유지/보수의 경비 절감 및 편의성 제고

(1) 축전지 최적 제어

현재 국내에서 운용되는 통신기기용 정류기는 출력전류 제한 기능만 있고 축전지 전류 제한 및 제어 기능은 없으므로 정전 발생에 비례하여 축전지의 성능 저하 및 수명이 단축되는 단점이 있다. 그러므로, 축전지의 충전전류를 제어하여 충전시 충격을 완화하여 수명을 연장할 수 있도록 하고 평상시 축전지를 주기적으로 자동 운전 시험하여 상태를 파악하고 교체 시기를 설정할 수 있도록 하여 축전지를 경제적으로 유지/보수 할 수 있다.

(2) 보수를 고려한 기구 설계

기존의 정류기들은 후면 단자대에 정류기 모듈을 병렬로 연결하여 볼트로 고정하고 있다. 이는 교환시나 고장시에도 전원을 차단할 수 없는 통신용 정류기의 특성상 교체시 작업자에게 감전의 위험이 있고 상당한 교체시간이 필요하다. 향후에는 전면에 설치된 버튼을 통해 회로 차단기를 동작시켜 전기적으로 안전하게 분리하고 장착시에는 밀어넣기만 하면 되는 구조의 스냅온 플러그인(Snap-on Plug-in)방식이 채택될 것이다. 이 방식은 매우 신속하고 안전한 교체 및 고장 수리가 가능하다.

3.5. 에너지 절약모드 운전

현재의 정류기는 부하의 용량에 관계없이 병렬로 장착된 정류기 모듈이 모두 균등하게 부하를 분배하여 동작하는 방식으로 설계되어 있어 부하가 작은 경우에는 효율이 떨어져 에너지 손실이 커지게 된다. 향후에는 이러한 단점을 보완하여 프로세서가 부하전류의 양을 감시하여 최대의 효율을 얻을 수 있는 수만큼의 정류기 모듈만 동작하도록 제어하여 에너지 손실을 최소화하는 에너지 절약모드 운전방법이 강구될 것이다.

4. 결 론

다양한 통신 수단이 발달하고 이를 구현하는 통

신시스템이 고집적화, 고기능화, 대용량화,다양화 되어 각 업체는 경쟁적으로 통신의 품질 및 서비스 향상에 주력하고 있다. 그러므로, 통신시스템의 전원을 공급하는 정류기도 고신뢰성 및 고품질의 소형경량화된 경제성있는 정류기가 요구되고 있다.

이러한 요구에 의해 등장한 고주파 스위칭 방식 정류기가 고주파 스위칭을 통해 기존의 위상제어 정류기보다 소형경량화 할 수 있어 현재 주류를 이루고 있으나 소형경량화에 제한이 있고 전원의 품질면에서 한계를 가진다. 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위하여 공진 현상을 이용한 정류기의 개발 및 실용화가 진행되고 있다.

이와 함께 정류기의 신뢰성 향상을 위해 잉여전원시스템화가 진행되고 있으며 국제 규제의 강화 움직임에 따라 역율 보상회로의 채택이 고려되고 있다. 또한, 프로세서를 이용한 디지털 회로 기술을 적용하여 원활하고 경제적인 관리를 위한 원격지 제어 기술과 유지/보수의 편의성 및 경비 절감을 위한 자기 진단 기능, 이력관리, 축전지 충전전류 제어 등의 기술이 채택되고 있다.

[참고 문헌]

[1] K.H.Liu, F.C.Lee, "Zero-Voltage Switching Technique in DC-DC Converter.' IEEE.PESC Proc. pp. 68~90. 1986

[2] M.M.Jabanovic, W.A.Tabisz, "Zero-Voltage Switching Technique in High Frequency Off-line Converter." IEEE.APEC, Proc. pp. 23~32.,1988

[3] I.A.Sabate, V.Vlatkovic, R.B.Ridley F.C.Lee, B.H.Cho, "Design Consideration for High Voltage, High Power, Full-Bridge Zero-Voltage Switched PWM Converter." IEEE APEC. Proc. Pp.275~284,1990

[4] G.Hwa, C.Leu, F.C.Lee, "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters," IEEE PESC Rec.pp.55~61.1992

[5] C.Silva, "Power Factor Collection with the UC3854", Unitrode Co. Application Note U-125

[6] 김희준 "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, 1993

[7] 한국통신 전원규격

[8] 국제전기표준협회(IEC) 규격

김 희 일(金熙一)

1968년생
1994년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사)
1996년 한양대학교 기전공학과 졸업(석사)
1996년 ~ 1998년 LG산전연구소 주임연구원
1998년 ~ 현재. HEX파워시스템선임연구원

정 용 호(鄭容昊)

1960년생
1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 KAIST 전기공학과 졸업(석사)
1990년 KAIST 전기공학과 졸업(박사)
1994~1995 Univ. of Wisconsin-Madisn(US) Post Doc.
1985년 ~ 현재. LG산전연구소 책임연구원