



高周波 링크를 사용한

無停電 電源裝置

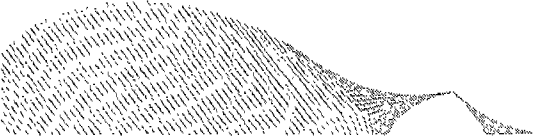
Uninterrupted Power Supply System
by High Frequency Links

鄭 容 昊

금성산전(주) 연구소 연구원

曹 圭 亨

한국과학기술원 전기과 부교수



1. 서 론

최근에 컴퓨터가 널리 보급되면서 무정전 전원장치(UPS)에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 소형 컴퓨터와 사무 자동화 혹은 가정 자동화(Home Automation)에 필요한 전원장치로서 1kVA 이하의 소형 UPS에 대한 시장이 확대 일로에 놓여 있다.^{1,2,3)} 이러한 응용에 있어서 부피나 무게가 작아야 할 뿐만 아니라, 가격도 저렴해야 한다는 필요성이 대두되고 있다.

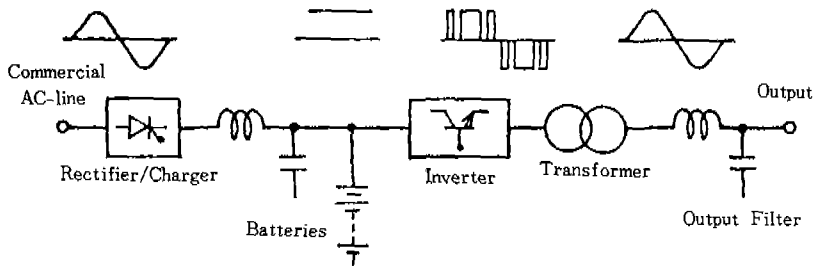
이러한 특성을 얻기 위해서는 고주파 링크(High Frequency Link)를 사용한 에너지 절환(Power Conversion) 개념이 필요하게 된다. 즉, 고주파 링크를 사용함으로써 무정전 전원장치의 구성요소 중 절연변압기와 출력단 필터의 크기와 가격을 상당한 수준으로 줄일 수 있게 된다.

그림 1은 기존의 UPS 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 이러한 방식에서는 상용전원이 정류기를 통해 직류로 변환된 후에 에너지의 일부

는 축전지를 충전시키고, 대부분 에너지는 인버터를 통해서 교류로 역변환된다.⁴⁾ 이때 인버터 출력단에 절연변압기가 항상 필요하며, 출력단 전압파형의 왜울을 개선시키기 위해서 L, C 필터가 추가된다. 만약 인버터의 스위칭 주파수를 증가시키게 되면 L, C 필터의 크기는 두드러지게 감소시킬 수 있으나, 절연변압기는 출력단 주파수에서 동작되기 때문에 가격이나 크기가 줄어들지 않는다. 따라서 절연변압기의 크기와 가격도 줄일 수 있는 형태의 UPS가 최근에 발표되고 있는데, 이들에 대해서 살펴 보고, 각각의 장단점에 대해서 논하기로 한다.

2. 본 론

절연변압기의 크기와 가격을 줄이기 위해서는 절연변압기가 놓이는 위치를 바꾸거나 전력회로의 형태를 바꿈으로써 절연변압기의 동작주파수를 증가시켜야 한다. 가장 먼저 시도되었던 방법은 종래의 UPS 구조에서 정류된 직류전원에



〈그림 1〉 기존의 UPS 블럭 다이어그램

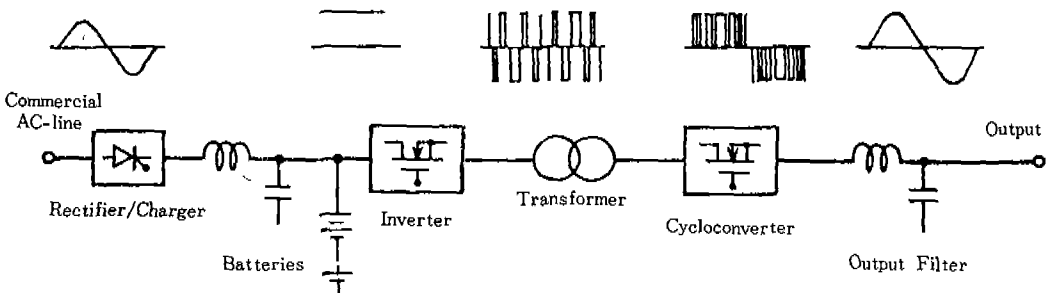
인버터를 연결시키지 않고 스위칭 모드 파워 서플라이(Switching Mode Power Supply : SMPS)를 먼저 연결하여 가변 직류전원을 얻은 다음 이를 인버터에 연결하여 교류를 얻는 방법이다. 이때 절연변압기는 SMPS 내부에 들어가기 때문에 고주파로 동작되어 가격과 크기가 상당히 줄어들게 된다. 그러나, 이 경우에는 서로 다른 두개의 콘버터를 제어해야 하고, 두 콘버터가 직렬로 연결되어 있기 때문에 스위칭 손실이 증가하고, 또한 부하측에서 회생되는 무효전력을 처리하기가 곤란하다는 단점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 제거한 두가지 방식의 콘버터 회로에 대해서 살펴 보고 비교하기로 한다.

2.1 비 공진형 고주파 링크 UPS^(2,3)

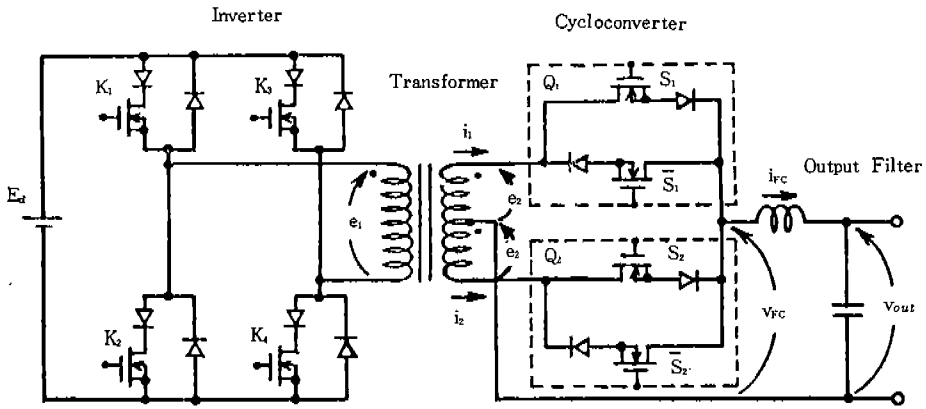
그림 2는 비 공진형 고주파 링크를 사용한 UPS의 블럭 다이어그램을 나타내고 있다.

이러한 방식에서는 절연변압기의 동작 주파수가 인버터 스위칭 주파수의 절반에 해당하기 때문에 스위칭 주파수의 증가와 함께 크기를 거의 비례적으로 줄일 수 있다. 그림 3과 그림 4를 참고로 하여 좀 더 상세한 설명을 하기로 한다.

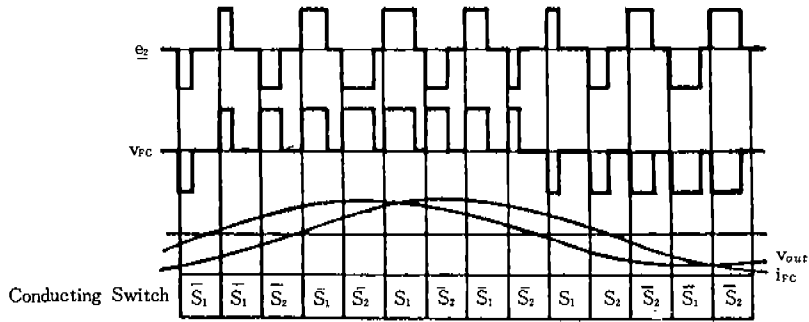
그림 3의 인버터 부분의 스위치를 적절한 순서대로 켜주고 꺼주게 되면 절연변압기 1차측 전압은 그림 4에 도시된 바와 같이 나타난다. 즉, 인접하는 2개의 펄스는 높이와 폭이 같고 부호는 반대가 되므로 절연변압기에 평균적으로 걸리는 자속밀도를 제로로 만들게 된다. 따라서 출력단 한주기에 대해서 펄스 쌍(Pulse Pair)이 몇 개 있는가에 따라서 절연변압기의 동작주파수가 결정된다. 변압기 2차측 파형도 1차측 파형과 동일하므로 60Hz 교류를 얻기 위해서는 그림 4에서 처럼 두개의 양방향 스위치를 적절히 선택하여 그림 4의 V_{FC} 와 같은 파형을 얻은



〈그림 2〉 비 공진형 고주파 링크 방식의 UPS 블럭 다이어그램



〈그림 3〉 비공진형 고주파 링크 UPS 회로도



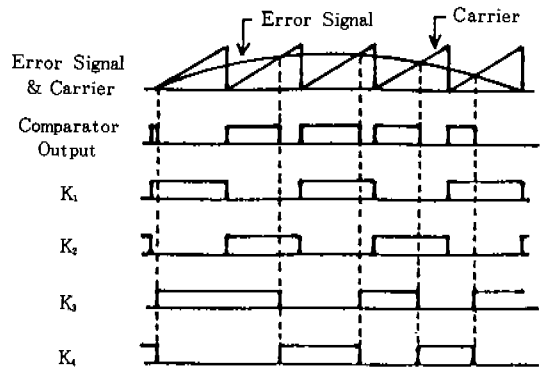
〈그림 4〉 Cyclo Converter의 스위칭 순서도

다음 필터링하면 깨끗한 교류전압을 얻을 수 있게 된다.

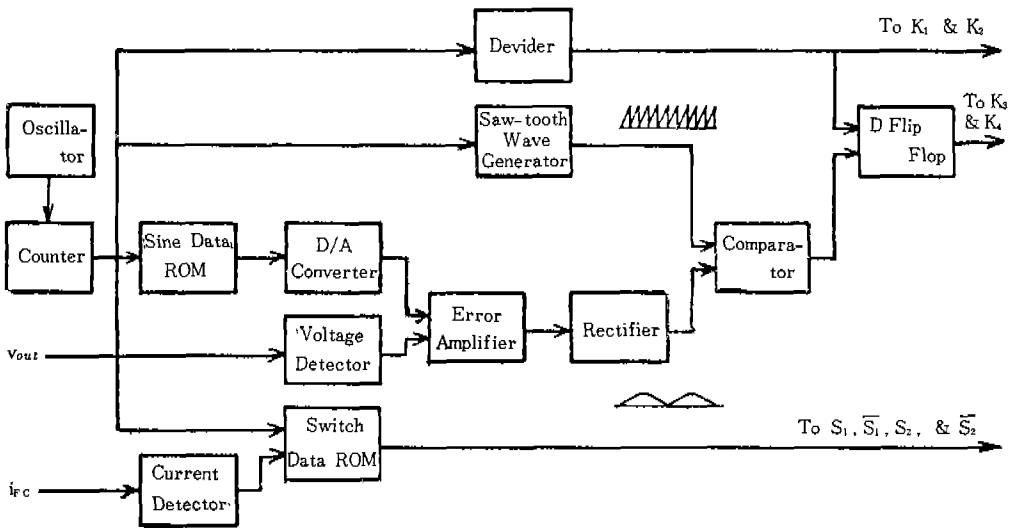
좀 더 상세히 살펴 보면 그림 5에 도시된 바와 같이 출력단 전압과 기준전압의 차이를 톱니파와 비교하게 되면 그 전압오차에 비례하는 펄스 폭을 얻을 수가 있고, 이들을 적절히 처리하면 인버터의 각 스위치에 해당되는 신호를 얻을 수 있게 된다.

이러한 모든 것을 종합한 제어 블록도가 그림 6에 그려져 있다. 즉, 기준전압과 실제전압의 오차신호에 의해서 인버터 회로를 제어하고 부하측의 전류극성과 전압극성에 따라서 Cyclo Converter 스위치를 적절히 켜주게 되는 것이다.

반면에 동작주파수가 증가하게 되면 60Hz용 철심 코어를 사용할 수가 없게 되므로 고주파용



〈그림 5〉 인버터의 스위칭 순서도



〈그림 6〉 전체 제어 블럭도

페라이트 코어를 사용해야 하므로 가격은 크게 감소하지는 않는다. 예를 들어, 페라이트 코어를 사용한 변압기의 스위칭 주파수가 25kHz인 경우 10kW 용량에 대해서 스위칭 주파수가 60 Hz인 철심 코어와 비교해 보면 무게는 1/9 정도로 감소하는 반면, 가격은 60% 정도 감소한다.⁽¹⁾ 일반적으로 페라이트 코어를 수 100kHz까지 동작시킬 수가 있으므로 스위칭 주파수를 더욱 더 증가시키면 가격과 무게를 한층 더 감소시킬 수 있으나 스위칭 소자의 손실 때문에 한계가 있게 된다.

따라서, 고효율을 유지시키면서 절연변압기를 더욱 더 줄이기 위해서는 인버터나 Cyclo Converter 부분에서 발생하는 스위칭 손실을 최소화시켜야 하는데, 이를 위해서는 스위칭이 영전압 (Zero Voltage) 혹은 영전류 (Zero Current) 근처에서 발생하게 하면 된다. 이러한 개념을 구현할 방식에 대해서 살펴 보기로 한다.

2.2 공진형 고주파 링크 UPS⁽⁵⁻⁹⁾

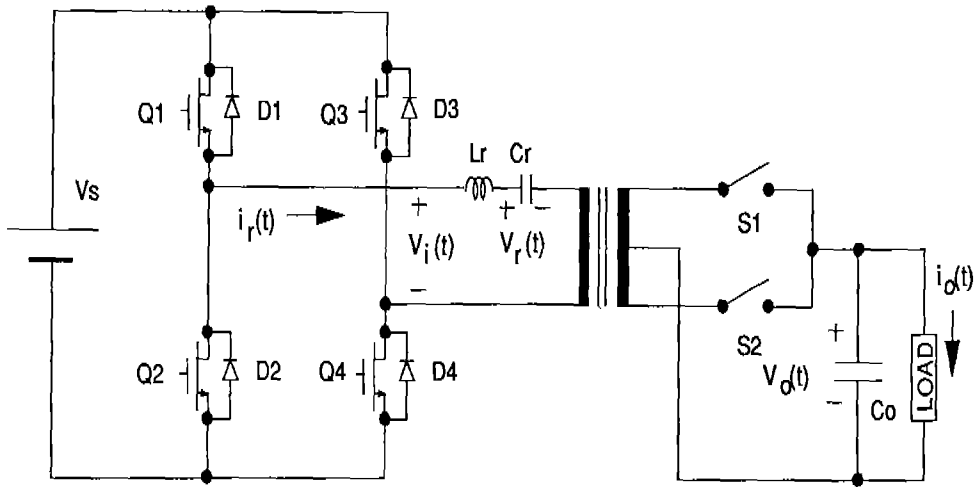
그림 7은 공진형 고주파 링크를 사용한 UPS의 전력회로를 보여주고 있다. 그림 3의 비 공

진형과 비교해 보면 인버터 출력단에 L_r , C_r 공진회로가 연결된 것을 제외하고는 똑같은 모양이나 그 동작은 상당히 다르게 된다.

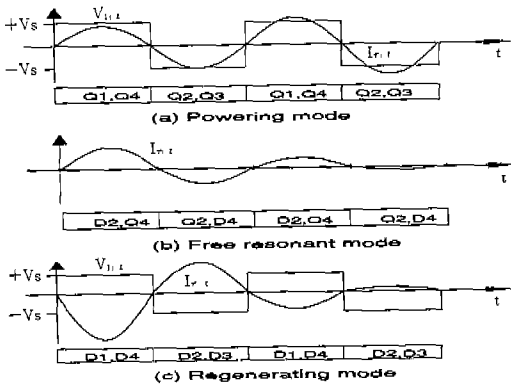
앞에서도 언급한 바와 같이 인버터의 동작주파수를 증가시키기 위해서는 스위칭 손실을 최소화시켜야 하는데, 이를 성취하기 위해서는 스위칭되는 시점에 제약이 따르게 된다. 즉, 공진전류가 영 (Zero)이 되는 순간에 스위칭하게 되면 스위칭 손실이 거의 없게 되나 출력단 전압을 제어하기 위해서 펄스폭 변조와 같은 것을 할 수 없게 된다. 그러나 직류전원에서 공진회로에 공급되는 에너지량을 제어할 수는 있기 때문에 이를 이용하면 출력단 전압 또한 제어가 가능하다.

그림 8은 공진회로의 세가지 동작 모드를 보여주고 있다.

첫째, 공진회로에 인가된 전압의 위상이 공진전류의 위상과 동일하게 제어하는 전력 모드 (Powering Mode)가 있다. 이 모드에서는 에너지가 직류전원측에서 공진회로측으로 공급된다 반면, 부하측에서 공진회로측으로의 에너지 전달은 출력단 스위치 (S_1 , S_2)의 상태와 출력단



(그림 7) 공진형 고주파 링크 UPS 회로도



(그림 8) 공진회로의 세가지 동작 모드

전압의 극성에 따라서 양이 될 수도 있고 음이 될 수도 있다.

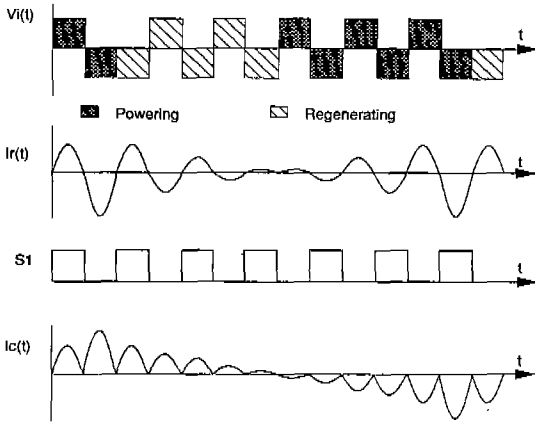
둘째로, 공진회로에 인가되는 전압을 영으로 만드는 자유공진 모드(Free Resonant Mode)가 있다. 이 구간에서는 직류전원에서 공진회로측으로 에너지 전달이 없고 공진회로의 에너지가 부하측에 전달되거나 부하측으로부터 에너지가 회생된다. 통상 이 모드는 공진회로의 에너지를 서서히 증가시키거나 감소시킬 때 이용된다.

셋째로, 공진회로에 인가되는 전압위상이 공

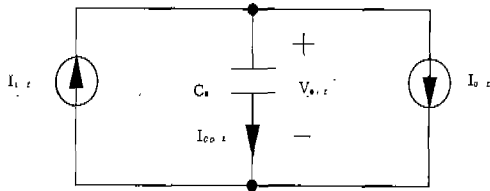
진전류의 위상과 반대가 되게 제어하는 회생 모드(Regenerating Mode)가 있다. 이 모드에서는 공진회로의 에너지가 직류전원측으로 회생되기 때문에 공진회로의 에너지를 급격하게 감소시킬 때 이용된다. 위와 같은 3개의 동작 모드를 적절히 선택하게 되면 공진회로에 흐르는 전류의 크기를 제어할 수가 있고, 출력단 스위치(S1, S2)의 상태에 따라서 출력단 전압이 증감되게 된다.

그림 9는 출력단 스위치가 공진주기에 맞추어서 번갈아 켜질 때 공진회로를 제어한 경우 출력단 커패시터(C_o)에 공급되는 전류파형을 보여주고 있다. 즉, 전력 모드와 회생 모드를 적절한 순서로 선택하게 되면 부하측에 공급되는 전류의 크기 뿐만 아니라 극성까지도 제어가 가능하다는 것을 보여 주고 있다. 특히 전류극성이 바뀌는 순간을 살펴 보기로 한다.

공진회로의 에너지를 급격하게 줄이기 위해서 인버터 부분의 4개 스위치($Q_1 \sim Q_4$)를 모두 꺼버리게 되면 공진 전류는 4개의 다이오드($D_1 \sim D_4$)를 통해서 직류 전원측으로 에너지를 회생시키게 된다. 이때 도통되는 다이오드와 병렬로 연결된 스위치에 턴 온(Turn-on) 신호를



〈그림 9〉 출력단 스위칭 순서가 고정되었을 때 여러가지 파형



〈그림 10〉 단순화된 등가회로

인가하여도 실제로 켜지지 않기 때문에 동일한 동작을 한다.

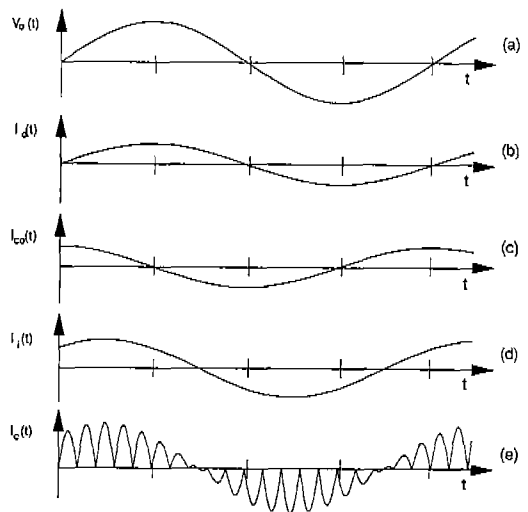
반면에 에너지 회생구간이 계속되면 공진회로의 캐패시터 (C_r) 양단 전압이 계속 감소하여 다이오드를 도통시킬 수 없는 조건에 도달하게 되면 자동적으로 스위치 ($Q_1 \sim Q_4$)가 도통되어 공진회로측으로 에너지가 전달되는 전력 모드가 형성된다.

그러나 출력단 스위치의 상태가 반전된 형태를 갖기 때문에 결과적으로 출력측에 나타난 전류극성은 음의 값을 갖게 된다. 즉, 출력단 스위치의 스위칭 순서가 고정되었음에도 불구하고 출력단에 흐르는 전류극성은 변화시킬 수 있는 것이다. 따라서 인버터와 출력단 스위치를 통합해서 가변 전류원으로 대체시킬 수가 있게 된다.

이때의 등가회로가 그림 10에 그려져 있다. 또한 그림 11에는 출력단 전압파형이 정현파일 때 각점의 파형을 보여 주고 있는데, 이 두 그림을 참고로 하여 출력단 전압제어 개념을 설명하기로 한다.

출력단 전압의 주파수(통상 60Hz) 보다 공진 주파수(통상 수 10~수 100kHz)가 매우 높기 때문에 공진회로의 반주기 동안 부하측은 정전류원으로 대체시킬 수가 있다. 한편, 가변 전류원 ($I_i(t)$)의 크기는 공진회로의 반주기 단위로 가변되는 전류원이라 가정할 수가 있으므로 부하측에서 필요로 하는 전류 ($I_o(t)$)와 출력단 전압 ($V_o(t)$)을 정현파로 유지하기 위해 필요한 전류 ($I_{c0}(t)$)를 가변 전류원이 공급하게 되면 출력단 전압은 부하변동에 관계없이 제어되게 된다. 편의상 부하가 순저항이라 가정했을 때, 그림 11을 참고로 하여 설명하면 다음과 같다.

출력단 전압파형이 (a)와 같이 변화하는 정현파라고 한다면 이때 부하측에 흐르는 전류는 각각 (b)와 (c) 같은 위상을 가지게 될 것이며, 가변 전류원은 (b)와 (c)를 합한 값, 즉 (d)와



〈그림 11〉 출력단 전압이 정현파일 때 각 점의 파형

□ 英國產業뉴스 제공

● 매혹적인 여름 모자 ●

데이비드 윌링의 1989년 봄, 여름을 위한 신작 모자발표회를 보면 올해 영국의 왕립 경마대회(전통적으로 이 때 여자들은 멋진 모자를 쓰고 경주나온다)는 예년보다 훨씬 화려한 행사가 될것같다. 예년의 사치한 꽃장식을 사용한 모자들이 사라지고, 그 대신 사진에서 보는 것처럼 경쾌한 흑백무늬의 작고 산뜻한 모자나 크고 대담한 모자가 선을 보였다.

데이비드 윌링은 12세부터 그의 어머니 거트루드 부인이 왕립 경마대회에서 쓸 특이한 모자를 디자인한 것으로 가장 잘 알려져 있다. 그러나 그는 모자뿐만 아니라 여러가지 다른 제품도 디자인하고 있으며, 견실하고 진지한 디자이너로서 점차 명성을 얻고 있다. 그는 최근에 발레복을 최초



로 디자인하고, 스케치를 전시하고 이 세한 본차이나, 벡타이, 장난감등도 디자인한 바 있다.

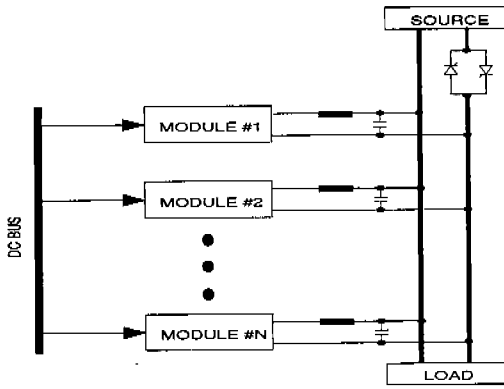
같은 전류를 공급하도록 제어된다. 그러나 실제로는 가변 전류원은 공진회로에 의해서 형성되므로 (e)와 같은 파형을 갖게 된다. 맥동 성분을 제외한다면 평균적으로 (d)와 (e)는 동일한 값을 갖게 된다.

즉, 원하는 출력전압을 유지하기 위한 캐패시터(C_0)의 전류와 부하전류를 합한 값이 가변 전류원($I_i(t)$)에 의해서 공급되도록 제어하는 것이다. 그러나 단순히 이렇게 제어하게 되면 출력단 전압의 감소나 증가가 부하전류의 감소와 증가에 직접 영향을 미치기 때문에 추가로 제환제어(Feedback Control) 개념이 필요하게 된다. 즉, 출력단 전압과 기준전압의 오차를 측정하여 가변전류원 명령치를 보상하게 되면, 어떤 원인

에 의해서 발생할지도 모르는 출력전압의 변동을 곧바로 보상시켜 주게 된다.

이와 같이 공진형 고주파 링크를 사용하게 되면 비 공진형에 비해서 스위칭 손실을 크게 줄일 수 있게 되므로 스위칭 주파수를 수 100kHz 까지 높일 수 있게 되어 동일한 출력용량에 대해서 상대적으로 절연변압기의 크기나 가격을 한층 더 감소시킬 수 있게 된다.

현재 구입 가능한 페라이트 코어를 사용한 경우, 동작 주파수가 20kHz일 때 1kVA까지 사용할 수 있고 스위칭 주파수가 더욱 더 증가하면 더 큰 용량까지 이용될 수 있다. 그러나 수 10 kVA 용량까지 확대시키려면 병렬운전에 대한 개념이 필요하게 된다. 비공진형 고주파 링크를 사



(그림 12) 공진형 고주파 링크를 사용한 UPS의 병렬운전 블록도

용한 방식에서는 병렬 운전시 출력단이 전압원으로 나타나기 때문에 모듈 사이에 존재할 수도 있는 순환전류를 방지하기 위한 대책이 필요한 반면, 공진형에서는 출력단이 전류원으로 나타나기 때문에 매우 쉽게 구성될 수 있다.

그림 12는 공진형 고주파 링크를 사용한 UPS의 병렬운전 블록도를 보여 주고 있다. 직류전원은 공용으로 하고, 각 모듈의 출력단에 추가로 소형 필터를 달아 고주파 왜음과 간섭을 제거한 다음 상용전원에 직접 연결한 모양을 하고 있다.

통상 전원선에는 누설 인덕턴스가 존재하기 때문에 각 모듈의 출력전압 위상을 상용전원의 위상보다 앞서게 하거나 뒤지게 함으로써 부하 양단의 전압을 제어하면서 직류전원(축전지)을 충전시키다가 정전이 되면 상용선에 연결된 스위치를 턴오프(Turn-off)시켜 상용전원이 곧바로

부하에 연결되는 것을 차단함과 동시에 부하에 공급되던 에너지는 공진형 인버터가 맡게 된다. 상용 전원이 복구되면 인버터 출력전압의 위상을 서서히 변화시켜 상용전원과 동기시킨 후 상용전원에 연결된 스위치를 다시 켜주게 되면 통상 동작 모드로 되돌아가게 된다.

이와 같은 구조는 3단자 구조(Triport Structure)라 불리우며, 60Hz 변압기를 사용하여 최근에 실용화된 구조와 동작원리는 동일하다. 그러나 60Hz 변압기를 사용한 방식에서는 변압기의 형태가 누설변압기(Leakage Transformer)이기 때문에 보통 철심변압기보다 크기나 가격이 높아서 대용량에는 부적합한 반면, 공진형 UPS형태에서는 그런 문제점이 모두 제거되므로 훨씬 경제적이다.

4. 결 론

지금까지 고주파 링크를 사용한 UPS의 필요성과 기존의 방식에 비해 갖는 장단점을 살펴보고 공진형과 비공진형의 두가지 형태에 대해서 고찰했다. 그 결과, 공진형 고주파 링크를 사용한 방식이 가장 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수가 있었고, 또한 가장 작은 크기로 구성되면서 가격 또한 최소가 될 수 있음을 알 수가 있다. 그 이외에도 공진형 UPS의 경우 영전류 스위칭을 하기 때문에 EMI 노이즈 또한 격감되며, 효율 또한 높으리라 생각된다. 따라서 향후 UPS의 구조는 이러한 공진형 고주파 링크를 사용한 방식으로 발전되리라 생각된다.

[참고문헌]

- [1] S. Manias, P.O. Ziogas and G. Olivier, " Bilateral DC to AC converter using high frequency link ", IEE Proceedings, Vol. 134, Pt.B, No.1, January, 1987
- [2] Koosuke Harada, Hiroshi Sakamoto and Masahito Shoyama, " Phase controlled DC-AC converter with high frequency switching ", PESC, 1987, pp 13 - 19
- [3] Ikuro Yamato, Norikazu Tokunaga et. al., " New conversion system for UPS using high frequency link ", PESC 1988, pp 658-663
- [4] T. Haney Oshi et. al., " Waveform Compensation of PWM Inverter with Cyclic Fluctuating Loads ", IAS Conf. Record., 1986
- [5] Robert L. Steigerwald, " A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies ", IEEE Trans. PE, Vol. 3, No. 2, April, 1988
- [6] J. Ben Klaassens, W.L.F.H.A. Moize de Chateleux et al., " Phase-Staggering Control of a Series Resonant DC-DC converter with Parallel Power Modules ", IEEE Trans. PE, PE, Vol. 3, No. 2, April, 1988
- [7] Ira J. Pitel, " Phase-Modulated Resonant Power Conversion Techniques for High Frequency Link Inverters ", IEEE Trans., IA, Vol. IA-22, No.6, Nov/Dec, 1986
- [8] G.B. Jeong and G.H. Cho, " Modeling of Quantum Series Resonant Converters - Controlled by Integral Cycle Mode ", IEEE-IAS Conf, 1988
- [9] Y.H.Chung, B.S.Shin and G.H.Cho, " Bilateral Series Resonant Inverter for High Frequency Link UPS ", IEEE PESC Rec., 1989, To be published.