

특집

전력전자회로의 최근동향

정 승 기

(광운대학교 전기공학과)

전력전자에서 사용하는 각종 전력변환장치(이하 '컨버터'라 칭함)는 어느 한쪽에서 다른 쪽으로 에너지의 전달을 제어하기 위하여 사용되며 그 과정에서 일반적으로 직류를 포함한 임의의 주파수와 크기를 갖는 전압원 혹은 전류원을 제어가능한 다른 주파수와 크기의 전압원 혹은 전류원으로 변환하는데에 그 기본 기능이 있다. 현실적인 적용범위 내에서 이들 컨버터는 직류-교류변환, 교류-직류변환, 직류-직류변환 및 교류-교류변환의 네 형태 중의 하나에 속하게 된다. 이들 컨버터의 세부적인 구현 방식에는 차이가 존재하지만 그 회로구조에 있어서는 공통적인 특징을 추출해 낼 수 있기 때문에 위의 네 용도를 초월하여 일반적인 컨버터 회로에 관한 이론을 세우고 체계적인 분류를 위한 시도가 있어 왔다[1-4].

컨버터회로에 대한 이러한 접근방식은 대단히 흥미로운 것이기는 하지만 사용환경에 따라 달라지는 여러 조건들, 즉 입력과 출력이 각각 단상인지 혹은 다상인지, 입출력단자에 접속되는 주변회로가 전류원의 특성을 지니는지 전압원의 특성을 지니는지, 나아가 컨버터를 구성하는 소자들의 특성(수동형 스위치, 반동형스위치, 능동형 스위치, 단방성 혹은 쌍방성 스위치)이 어떠한지 등에 따라 파생되는 가능한 모든 형태의 컨버터를 모두 검토하는 것은 그 자체로 방대한 학술적인 작업을 요하는 작업이 된다. 또한 근래에 출현하고 있는 특정 용도를 위한 특수 형태의 컨버터까지를 이러한 체계 안에 포함시키기에는 무리가 따르는 것으로 생각된다. 따라서 이하에서는 현실적으로 널리 적용되고 있는 컨버터들을 중심으로 현황과 발전추세를 간략히 기술하고자 한다.

직류-직류 컨버터

직류-직류 컨버터, 혹은 초퍼의 기본형으로는 강압형(buck), 승압형(boost), 승강압형(buck-boost)이 있다. 응용분야의 측면에서 직류-직류 컨버터는 대체로 스위칭전원등에서와 같이 비교적 작은 용량과 견인전동기 구동용 등에서와 같은 대용량의 용도로 양극화되어 있는 것으로 보인다.

대용량 초퍼에서 강제전류회로를 갖는 사이리스터 초퍼는 근래에 거의 사라졌으며 GTO 및 트랜지스터의 능동형 스위치를 사용한 회로로 대체되었다. 회로구조상으로는 강압형 초퍼를 기본으로 한 다상한(2상한 혹은 4상한) 초퍼가 주류를 이루며 그 회로상의 변천은 거의 미미한 것으로 보인다. 근래에 출현한 소자들로 인해 초퍼의 스위칭주파수를 크게 높임으로써 성능을 향상시킬 수 있게 되었지만 여전히 스위칭손실이 동작주파수의 주된 제약요소로 작용하고 있다. 스위칭손실을 줄이기 위해 영전압스위칭 혹은 영전류스위칭을 구현하는 매우 다양한 형태의 공진형 토폴로지가 고안되어 왔다[5, 6]. 그러나 이들은 주로 저전력용에만 적용되고 있고 대전력용에서는 여전히 하드스위칭방식이 사용되고 있다.

저전력용에서는 회로의 절연을 겸하여 변압기를 사용한 여러 종류의 회로가 고안되어 적용되고 있으며 플라이백(flyback) 컨버터와 포워드(forward) 컨버터가 주종을 이루고 있다. 이러한 형태의 컨버터는 스위칭을 통해 고주파 교류링크를 만들어 줌으로써 컨버터에 부속되는 수동요소(인덕터, 커패시터 및 변압기)들을 소형, 경량화하는 데에 기여하였다. 근래에는 고주파 교류링크를 포함한 공진형 내

지는 준공진형 컨버터가 활발히 연구되고 있으며[7, 8] MOSFET를 사용, MHz 단위까지 스위칭 주파수를 상승시키는 것이 가능하게 되었다. 이들 컨버터는 고전력밀도와 고효율을 요구하는 항공우주분야 등에서의 적용이 유망시되고 있다.

교류-직류 컨버터

교류-직류 컨버터, 혹은 정류회로는 전력전자 응용의 전 분야에 걸쳐 가장 흔히 나타나는 회로로서 과거에는 다이오드정류기 및 사이리스터 제어정류기가 주류를 이루어 왔다. 정류회로는 일반 상용전원과 직접 접속되는 부분이 되므로 전원의 고조파와 무효전력의 발생에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 근래에 전력의 질(power quality)과 역률의 향상에 대한 요구가 증대함에 따라 보다 계통친화적인 교류-직류 컨버터에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다.

수 kW 미만의 소용량에 있어서는 단상 다이오드 정류기의 뒷단에 승압초퍼를 접속하여 입력전류를 전원전압과 동상의 정현파에 가깝게 만드는 회로가 고안되었다[9]. 3상의 경우에는 다이오드 정류기의 교류입력단에 리액터를 삽입하고 직류단에 승압초퍼를 사용하는 방식이 있으며[10] 이 경우 초퍼의 스위칭주파수가 매우 높아야 하기 때문에 용량에 제한이 있다.

대용량의 경우에 있어서는 기존의 전류형브릿지 구조의 사이리스터컨버터회로에서 사이리스터를 GTO로 대체하여 입력단의 고조파와 역률을 개선하는 연구가 한동안 많이 이루어졌으나 실제로는 그다지 널리 적용되고 있지는 않은 것으로 보인다. 대신에 전압형 인버터와 같은 구조의 컨버터가 회생형 정류기로 적용하기 시작된 이래[11] 대용량 교류전동기 구동분야에서 PWM 정류회로가 근래에 널리 보급되고 있다. 특히 단상전원에서 동작하는 PWM 정류회로는 전기철도에서 견인전동기구동용 전력변환장치의 정류부로 보편화되는 추세에 있다. 한편 이 형태의 컨버터는 주로 전류제어형으로 동작, 입력단 전류를 임의의 파형이 되도록 하는 것이 가능하기 때문에 고역률, 저고조파 발생형 정류기로서 뿐만 아니라 무효전력 보상장치로서, 나아가 고조파 보상용 능동필터로서도 적용되고 있다.

직류-교류 컨버터(인버터)

인버터는 용도상 크게 가변속 전동기 구동용의 가변전압 가변주파수(VVVF) 출력과 무정전 전원장

치로 대표되는 일정전압 일정주파수(CVCF) 출력방식이 있고 기타 특수목적의 인버터가 있다. 회로구조상으로는 전압형과 전류형으로 나눌 수 있는데 대부분의 CVCF용과 중소용량의 VVVF용에 있어서는 전압형 PWM 인버터가 사용되고 있다. 전류형 인버터는 주로 대용량 전동기 구동용에 적용되고 있으나 차츰 전압형으로 대체되어가는 추세에 있다.

SCR을 사용한 전류형 인버터 구조로 대용량 동기전동기 구동에 적용되어 온 부하전류식 인버터(LCI: Load Commutated Inverter)와 한때 전류형 인버터의 대표격이었던 ASCII (Auto Sequentially Commutated Inverter)는 6계단형 출력으로 동작하여 맥동토크 등의 문제를 지니고 있어 근래에는 GTO등 능동형 스위치를 사용한 PWM 방식으로 전환되고 있다. PWM 전류형 인버터는 출력단에 전압스파이크 흡수를 위한 커패시터가 사용되며 근래에는 정류부도 동일한 구조를 가진 시스템이 적용되고 있다[12]. 전류형 인버터는 소자가 역전압 저지능력을 지녀야 하기 때문에 직렬다이오드를 필요로 하는 트랜지스터류의 소자들은 잘 적용되고 있지 않으며 이점이 전류형 인버터가 주로 대용량에 사용되는 간접적인 이유로 작용한다.

전압형 인버터는 역저지능력을 지닌 소자를 필요로 하지 않으므로 IGBT와 같은 소자를 사용하여 고속의 PWM 제어를 채용할 수 있어 광범위한 응용분야를 확보하고 있다. 특히 전동기 구동에 있어서는 제어방식상 전류제어형을 채용하여 벡터제어와 같은 속동제어에 잘 대응할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 전류형에 비하여 아암 단락의 위험성 때문에 다소 신뢰성은 떨어진다고 볼 수 있다. 대용량에서는 주로 GTO 인버터가 사용되고 있는데 GTO가 지니는 스위칭주파수의 한계를 극복하기 위한 방안으로 다중레벨 인버터의 연구가 활발히 진행되고 있다[13]. 다중레벨 인버터, 특히 3레벨 인버터는 다른 한편으로 GTO보다 상대적으로 용량이 작은 IGBT 소자 등을 대용량에 적용하기 위한 방안으로도 검토되고 있다. 전압형 인버터는 보통 다이오드 정류기 출력에 접속되는 것이 일반적이지만 근래에는 전류형의 경우에서와 같이 회생이 가능하게 하면서 나아가 고조파발생을 억제하기 위해 인버터와 같은 구조의 정류부를 채용하는 시스템이 증가하고 있다[11].

인버터에 있어서도 소프트 스위칭을 위한 공진형 토폴로지가 연구되어 왔다[14, 15]. 이들은 교류공진링크형과 직류공진링크형으로 나뉘어지며 각각은 다시 병렬공진형과 직렬공진형으로 나뉘어져 크게 네가지 형태의 토폴로지가 존재한다. 교류링크형에

서는 양방향 능동스위치가 사용되며 직류링크형은 단방향 스위치로 구성된다. 직류링크 인버터에서 병렬형은 기존의 전압형인버터의 컨버터 구조를, 직렬형은 전류형 컨버터의 구조를 사용한다. 이러한 공진형 인버터는 우주항공분야 등 제한된 영역에서 적용이 시도되고 있으며 아직 일반적인 용도로 확산되고 있지는 않은 것으로 보인다. 한편 유도기열이나 형광등 안정기용 전원 등 일부 특정용도에 공진형 구조의 인버터가 적용되고 있다.

교류-교류 컨버터

직류링크를 거치지 않고 교류의 전압과 주파수를 직접 변환하는 사이클로컨버터는 SCR을 사용하여 만들어져 왔으나 능동형 스위치를 사용한 일반적인 형태의 컨버터(매트릭스 컨버터) 역시 연구대상이 되어 왔다[16]. 이 형태의 컨버터는 입력 역률의 제어, 직류부터 교류까지의 광범위한 제어범위 등 기존의 사이클로컨버터에 비하여 우수한 성능을 지닐 수 있음에도 불구하고 그 복잡성과 효율 등의 문제로 인해 실제 적용에는 거의 없었다. 그러나 근래에 스위칭소자기술의 발전과 더불어 다시 관심의 대상으로 떠오르고 있다.

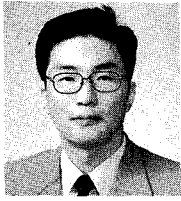
한편 소위 교류전압제어기라 불리는 역병렬 싸이리스터 방식의 컨버터는 그 단순성으로 인해 별다른 진전을 보이지 않았으며 싸이리스터를 능동형 스위치로 대체한 교류초퍼에 관한 연구가 일부 이루어져 왔다. 그러나 이 분야의 컨버터는 아직까지 실용적인 측면에서 그다지 관심을 끌지 못하고 있는 것으로 보인다.

참고문헌

[1] J. D. van Wyk, "Power electronics converters for motion control," Proc. IEEE, Vol. 82, No. 8, pp. 1164-1193, Aug. 1994.
 [2] L. Gyugi and B. R. Pelly, Static Power Frequency Changers, Wiley Interscience, New York, 1976.
 [3] P. Wood, Switching Power Converters, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
 [4] W. McMurray, "Power electronic circuit topology," Proc. IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 428-437, April 1988.
 [5] F. C. Lee, "High frequency quasi-resonant converter topologies," Proc. IEEE, Vol. 76, pp.

377-390, 1988.

[6] A. K. S. Bhat, "A unified approach to characterization of PWM and quasi-PWM switching converters: topological constraints, classification and synthesis," IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 6, pp. 719-725, 1991.
 [7] R. L. Steigerwald, "A comparison of half-bridge resonant converter topologies," IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 3, No. 2, pp. 174-182, April 1988.
 [8] R. W. de Doncker, D. M. Divan, and M. H. Kheraluwala, "A three-phase soft switched high power density dc-to-dc converter for high power applications," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 27, pp. 63-73, 1991.
 [9] M. Morimoto, K. Oshitani, K. Sumito, S. Sato, M. Ishida, and S. Okuma, "New single-phase unity power factor PWM converter-inverter system," Conf. Rec. IEEE PESC, pp. 585-589, 1989.
 [10] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, and S. Manlas, "An active power factor correction technique for three-phase diode rectifiers," Conf. Rec. IEEE PESC, pp. 58-66, 1989.
 [11] H. Kohlmeier and D. Schroder, "Control of a double voltage inverter system coupling a three-phase mains with an ac-drive," IEEE IAS Annual Meeting Conf. Rec., pp. 593-599, 1987.
 [12] M. Hombu, S. Ueda, and A. Ueda, "A current source GTO inverter with sinusoidal input and output," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. IA-23, pp. 247-255, Mar./Apr. 1987.
 [13] H. Stemmler, P. Guggenbach, "Configurations of high-power voltage source inverter drives," Proc. 5th European Conf. Power Electronics and Applications, Vol. 5, pp. 7-14, Sep. 1993.
 [14] D. M. Divan, "The resonant dc link converter-a new concept in static power conversion," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 25, No. 2, pp. 317-325, March/April 1989.
 [15] Y. Murai and T. A. Lipo, "High-frequency series resonant dc link power conversion," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 28, No. 6, pp. 1277-1285, Nov./Dec. 1992.
 [16] C. L. Neft and C. D. Schauder, "Theory and design of a 30-hp matrix converter," IEEE IAS Annual Meeting Conf. Rec., pp. 934-939, 1988.



정 승 기 (鄭 勝 基)

1960년생. 1982년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).

1988년 동 대학원 전기공학과 졸업

(박사). 1987년-현재 광운대학교 전기공학과 부교수 재직. 1994년 미 Texas A&M 대학에 Visiting scholar로 체재.