

ESS PCS 효율 향상을 위한 SiC 기반 ANPC Topology에 대한 연구

황광규, 이승운, 김호열, 안성국, 김희중, 김영근
LS산전

A Study of ANPC Topology using SiC FET for Improving Efficiency of ESS PCS

Kwang-kyu Hwang, Seung-woon Lee, Ho-yeol Kim, Sung-guk Ahn, Hee-jung Kim, Young-geun Kim
LS Industrial Systems Co., Ltd.

2. ANPC Topology

ABSTRACT

현재 화석연료 고갈과 미세 먼지 등의 환경 문제는 전 세계적인 이슈가 되어가고 있으며, 이에 따라 태양광, 풍력 등 신재생 에너지 사용 및 설치가 늘어나고 있다. 반면에, 다양한 분산 전원의 증가로 인해, 계통 불안정 문제 역시 전면에 대두되고 있으며, ESS등 계통 보조 시스템에 대한 관심과 실제 설치의 점점 선택이 아닌 필수적 조건으로 자리잡고 있다. 시장의 확대에 따라, 해당 시스템의 신뢰성과 효율에 대한 관심 역시 증가되고 있으며, 최대한의 성능을 위해 태양광 및 ESS등의 전압은 LV(Low Voltage)의 한계점인 1500V를 달성하였고, 이에 따라 ESS와 PCS역시 해당 전압에서의 동작 및 효율적인 동작 및 설치를 위해 발전하고 있다. 본 논문에서는 이러한 상황에 맞춰 효율적인 PCS 개발을 위한 방안을 제안하도록 한다.

1. 서론

근래의 태양광 및 ESS용 배터리의 전압은 설치 비용 감소 및 발전 효율 증대를 위해 점점 증가하여 마침내 LV 규정의 최대 전압인 1500V에 도달 하였으며, 이에 따라 신규 개발되고 있는 PCS의 전압 조건 역시 상승하고 있다. 하지만 PCS에 사용하기 위한 IGBT Module은 아직 이를 따라오지 못하고 있으며, 1500V 동작을 만족 시키기 위한 IGBT들은 비싼 단가, 스위칭 속도의 제한 등의 문제점이 있어 3-level Inverter Topology들의 사용이 대두되고 있다. 이들 중에서 가장 대중적으로 사용 되는 방식은 NPC(Neutral Point Clamped) Type으로 현재 다양한 제품들이 출시되고 있으며, 여기에서 한발 더 나아가 제품의 효율 증가, 부피 감소로 인한 설치비용 감소를 위하여 SiC 소자를 이용한 인버터에 대한 연구가 활발하다. 본 논문은 이러한 연구의 일환으로 SiC소자를 사용한 ANPC(Active Neutral Point Clamped) 회로를 소개하도록 한다[1]. SiC 소자는 스위칭 및 도통 손실이 작아 학계 및 산업계에서 큰 관심을 받고 있지만, 비싼 가격으로 인해 제품으로서의 사용을 주저하는 경향이 있는데, ANPC를 이 문제를 최소화 하면서도 고주파 동작 특성 및 고 효율 특성을 만족 시킬 수 있는 해법 중 하나로 제안하고자 한다.

2.1. NPC vs. ANPC

그림 1은 NPC와 ANPC Topology의 회로도이다. 같은 구조의 NPC이지만 Freewheeling을 담당하던 Clamping Diode (D5, D6)를 스위치로 변경한 회로로서, NPC 회로보다 높은 효율을 기대 가능하며^{[2][3]}, PWM 방식을 통해 다양한 Active 소자 조합이 가능하다는 장점이 있다.

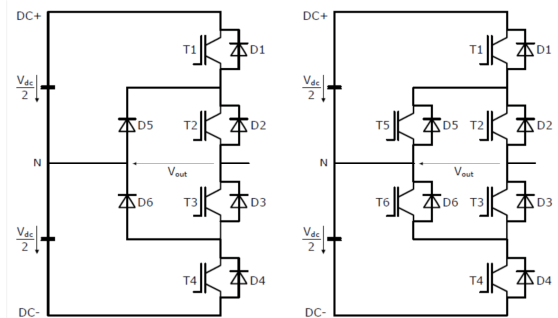


그림 1. NPC(좌)와 ANPC(우)의 회로도
<Fig 1. Schematics diagram of NPC(left) and ANPC(right) topology>

2.2. ANPC의 PWM 전략 및 Hybrid 구성

그림 2는 ANPC의 동작 Leg를 PWM 방식에 따라 구분하는 방식을 나타낸다. (T2, T3)의 조합으로 이루어진 Leg와 (T1, T4, T5, T6)의 조합으로 이루어진 Leg로 나눌 수 있으며, 이를 각각 계통 주파수 정류를 위한 LF(Low frequency switching - 50, 60 Hz)용도와 제어를 위한 HF(High frequency switching - 수~수십 kHz)로 구분 가능하다. ANPC는 여러 개의 Active 소자로 구성되어 있는 만큼 다양한 방식의 PWM 구동 방법을 사용 가능하며^{[4][5]}, 이에 따라 서로 다른 특성을 갖게 되지만, 본 논문에서는 (T2, T3) Leg를 HF로, (T1, T4, T5, T6) Leg를 LF로 사용하는 방식에 관심을 갖게 되었으며 그 이유는 다음과 같다.

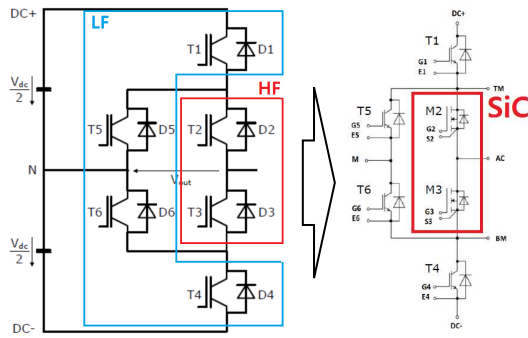


그림 2. ANPC 회로의 Leg 구성

<Fig 2. A classification of switching legs in ANPC topology >

NPC와 동일하게 T2와 T3를 계통 주파수에 맞춰 On/Off 시키는 일반적인 PWM 방식은 6개의 switch 모두, 또는 (T1, T4, T5, T6)의 4개 스위치가 동일한 주파수로 동작 구현이 필요하다. 이는 SiC를 사용한 고주파 동작을 목표로 할 시, 모든 스위치를 SiC로 구현해야 함을 의미한다. 이렇게 될 경우 회로의 효율 및 크기의 감소는 가능하겠지만, SiC FET 소자의 가격이 Si소자 IGBT에 비해 훨씬 더 비싼 현 상황 상, 제품의 가격 상승은 필연적일 수 밖에 없다.

반대로 본 논문에서 사용하고자 논의하는 (T2, T3) Leg만을 HF로 사용하는 방식은 (T1, T4, T5, T6) Leg를 모두 계통 주파수에 맞춰 On/Off만을 하도록 되어 있다. 즉, 2개의 switch만을 SiC로 사용하고, 저주파 동작을 하는 4개의 switch는 굳이 SiC가 아닌 IGBT를 그대로 사용할 수 있으며, 이는 곧 제품의 SiC의 장점을 가져 가면서도 가격 상승을 최소화 할 수 있는 Solution이 될 수 있다.

2.3. ANPC Hybrid 방식의 손실 분석

그림 3은 본 논문에서 제안하는 Si IGBT + SiC FET를 사용한 ANPC 회로와 Full SiC FET로 구성된 ANPC 회로를 동일한 PWM 방식을 사용하여 구동하였을 때 대하여 손실 분석을 진행한 결과이다^[2]. 해당 Simulation은 PSIM을 이용하여 진행하였으며, 소자에 따른 손실만을 고려하였기에 도선 저항, 기생 인덕턴스 등의 내용은 제외하고 진행하였다.

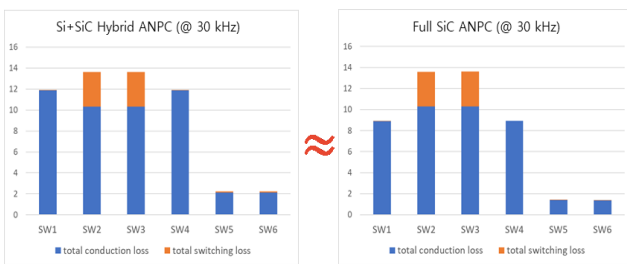


그림3. Hybrid ANPC와 Full SiC ANPC의 손실 비교

<Fig. 3. Loss comparisons of hybrid and full SiC modules>

Si IGBT와 SiC FET의 차이에 따라 T1, T4, T5, T6에서 Conduction Loss 차이가 발생하지만, SiC 소자가 큰 힘을 발휘하는 Switching Loss에 있어서는 50/60 Hz 스위칭 이기에 큰 차이가 없으며, 따라서 제안하는 구성 방식이 합당함을 확인할 수 있다.

3. 결론

PV 및 ESS 등의 사용이 증가하면서 고전압(1500V) Application에 대한 고 효율화에 대한 요구사항이 발생하였고, 이는 3-Level 회로 특히 NPC 계열의 회로에 대한 관심으로 나타났다. 이는 다양한 제품으로 시장에 반영되고 있으며, 여기에 SiC, GaN 등의 소자를 적용한 고 효율, 고 전력밀도에 대한 새로운 제품 개발이 열기를 띄고 있다.

본 논문에서는 이러한 추세에 맞춰 효율적이면서도 가격 상승을 최소화 한 ANPC 제품 개발 Solution에 대해 논하였으며, 손실 분석을 통해 해당 방식의 정합성을 판단하였다. 제안한 방식은 6개의 Switch 중에서 2개만을 SiC로 변경하면서도 Full SiC 구성에 크게 떨어지지 않는 성능을 나타내 가격과 성능을 모두 얻을 수 있다는 장점을 갖는다.

참고 문헌

- [1] Andreas Hammerli, Bjorn Odegard, "AC Excitation with ANPC," ABB Review paper, Marth, 2008.
- [2] He Liu, Jianguo Jiang, Wei Luo, "A Comparative Analysis of the Three-Level NPC and ANPC Converter Loss Distribution," Proceedings of the Journal of Electrical Systems (JES), vol. 11, no. 3, pp. 271-280, 2015.
- [3] P. Beckedahl and A. Giessmann, "3L Topology Comparison Study TNPC, NPC, ANPC," SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG, Mar. 2018.
- [4] T. Geetha, A. Anil Kumar, "Analysis of PWM Techniques Applied to Half Bridge ANPC Inverter Connected to Grid," Proceedings of IJARIE, vol. 2, issues 6, 2016.
- [5] D. Barater, C. Concarì, G. Buticchi, E. Gurbinar, D. De, and A. Castellazzi, "Performance Evaluation of a 3-Level ANPC Photovoltaic Grid-Connected Inverter with 650V SiC Devices and Optimized PWM," Proceedings on IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 2, pp. 2475-2485, 2016.]