

가정용 ESS-PCS의 PWM 스위칭에 따른 상용변압기의 특성 분석

정해민, 김호성

공주대학교 전기전자제어공학부

Characteristics of Utility Transformer on Residential ESS-PCS by PWM Switching

Haemin Jung, Hyosung Kim

School of EE and Control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

최근 전력수요가 늘어남에 따라 전력공급의 부족 현상이 빈번히 발생하고 있다. 이런 문제점의 예방책으로써 Energy Storage System (ESS)가 고려되고 있으며, 그 중 가정용 ESS는 3kW 정도의 용량이 선호되고 있다. 이러한 레벨의 용량을 갖는 ESS는 40~50V의 공칭전압으로 설계하는 것이 일반적이다. 3kWh 급 가정용 ESS를 220V 교류 계통과 연계하기 위해 계통 연계 인버터는 낮은 ESS의 배터리 전압을 승압하여야 한다. 이 때, 인버터의 AC 출력 전압을 증가하는 방법으로 상용주파수의 변압기를 사용하는 방법을 생각할 수 있다. 이때 LC필터는 변압기의 1차 측 또는 2차 측에 설치 될 수 있다. 후자의 경우 Power Conditioning System (PCS)에 의한 스위칭 주파수의 구형파를 상용변압기에 통과시킬 때 변압기 내의 기생성분들이 나타나는 현상으로 인하여 출력효율이 낮아지게 된다. 본 논문에서는 가정용 ESS의 스위칭 파형에 따른 상용 변압기의 특성에 대하여 연구한다.

1. 서론

최근 전력수요의 급격한 증가로 인해 전력설비의 공급능력을 초과하면서 대규모 정전 사태가 발생하는 일이 빈발함에 따라, 전력망에서 수요와 공급의 완충역할을 하는 ESS에 대한 관심이 높아지고 있다.

ESS는 교류 계통이 안정된 경우는 배터리를 충전시키지만 교류 계통이 불안정 하거나 전력 공급이 못 미치는 경우는 인버터를 통해 배터리에 저장된 에너지를 사용한다. 3kWh 급 가정용 ESS의 배터리 전압은 통상적으로 계통 전압보다 매우 낮기 때문에 계통전압에 맞게 승압을 해주어야 한다.

승압의 방법으로는 DC/DC 컨버터를 사용하여 PCS의 직류 링크 측 저전압을 승압시킬 수 있다. DC/DC 컨버터를 사용하면 부피와 중량을 감소시킬 수 있다. 그러나 중단없는 전력 공급을 수행해야 하는 ESS의 신뢰성 측면에서는 비록 부피와 중량이 커지더라도 수동부품인 상용 변압기를 사용하는 것이 바람직하다.

상용변압기를 사용할 경우 PCS의 교류 측 전압 및 전류 파형을 정현적으로 만들어주기 위한 LC 필터는 일반적으로 상용 변압기의 1차 측에 설치하여야 하지만, 가정용 ESS와 같이 PCS의 직류 링크 측 전압이 낮은 경우, 저전압/대전류 용 필터 인덕터를 제작하는 것이 쉽지 않다. 통상적으로 고전압/저전류용 인덕터는 표준적으로 많이 사용되며 제작하기도 간편하지만, 저전압/대전류용 인덕터는 제작하기가 용이하지 않으며 비용이 증가한다.

따라서 성능이 보장된다면 교류 측 LC 필터를 상용 변압기의 2차 측에 설치하는 것이 바람직하다. 하지만 2차 측에 LC 필터를 설치 할 경우 상용변압기에 고주파의 PWM 파형이 입력되고 그로 인해 효율이 낮아지게 된다. 본 논문에서는 상용

변압기를 사용하는 가정용 ESS의 고주파 스위칭 구형파 입력에 따른 상용 변압기의 특성에 대하여 연구한다.

2. 필터의 위치에 따른 출력특성

2.1 상용 변압기를 사용한 ESS-PCS 회로

그림 1은 교류 측 LC 필터의 위치에 따른 ESS PCS의 두 가지 전력 회로 토폴로지를 보인다. 그림 1a)는 상용 변압기를 사용하는 기존의 ESS PCS의 전력 회로 토폴로지이고 그림 1b)는 제안된 ESS PCS의 전력 회로 토폴로지이다. 기존의 전력 회로 토폴로지는 상용 변압기 전단에 교류 측 LC 필터가 위치한 모양으로 PCS의 정지전력형 스위치에 의하여 발생된 고주파의 PWM 구형파가 LC 필터를 거쳐 정현파를 출력 한 후 상용 변압기에 의하여 승압된다. 그러나 제안된 전력 회로 토폴로지는 상용 변압기의 후단에 교류 측 LC 필터가 위치한 모양으로 PCS의 정지전력형 스위치에 의하여 발생된 고주파의 PWM 구형파가 상용 변압기에 의하여 고전압으로 승압 된 후 LC 필터를 거쳐 정현파를 출력하게 된다.

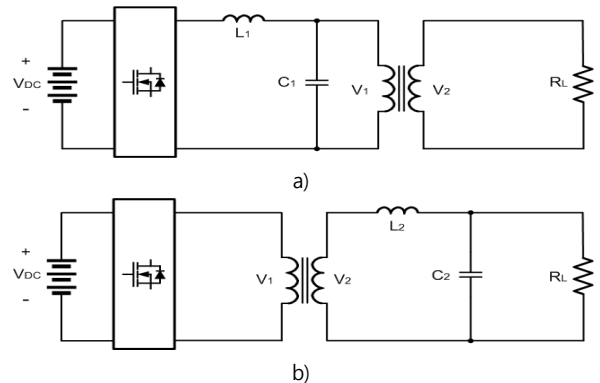
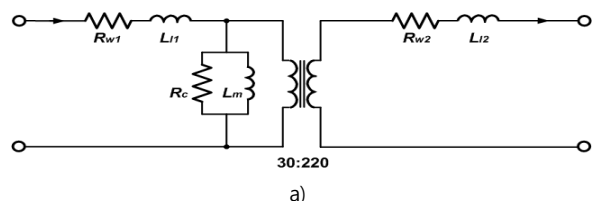


그림 1 ESS-PCS의 전력회로 토폴로지; a) 상용변압기 전단에 교류측 LC필터 설치, b) 상용변압기 후단에 교류측 LC필터 설치

그림 2a)에서 보여주듯이 상용변압기에 저주파(60Hz)가 입력 되었을 때와 그림 2b)와 같이 고주파가 입력되었을 때의 변압기의 등가회로는 각기 다른 양상을 띄고 있다. 이는 저주파에서는 보이지 않았던 기생 성분들이 고주파수로 올라갈수록 나타나기 때문이다. C_p , C_s , C_{ps} 는 권선의 코일에서 도체 사이의 coupling에 의해 생성되는 회로 상수이다.



a)

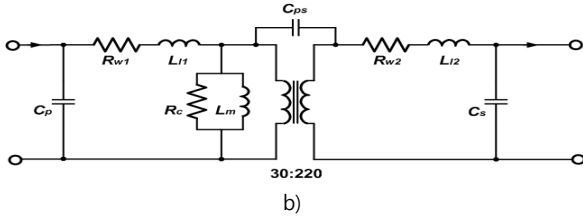


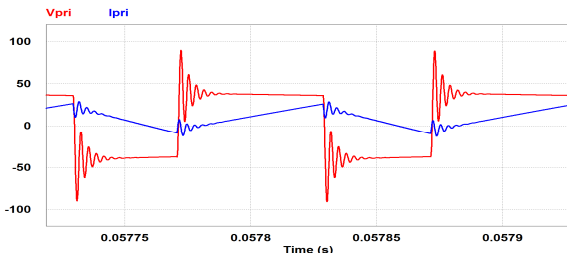
그림 2 변압기 등가회로 모델링; a) 저주파 입력시 상용변압기 등가회로, b) 고주파 입력시 상용변압기 등가회로

여기서 상용변압기에 10[kHz]의 PWM 구형파가 전달되는 것은 식(1)으로 설명할 수 있다.

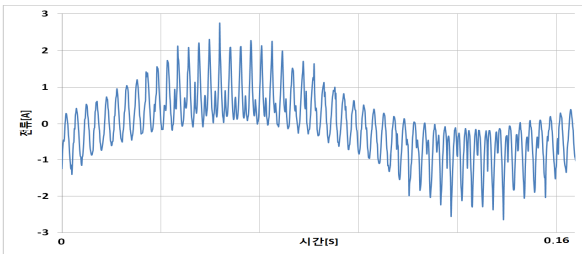
$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

식(1)은 패러데이의 법칙으로써 변압기의 입출력 원리를 설명한다. 즉, 상용 변압기의 1차 측에 감긴 권선수에 변압기의 철심에 흐르는 자속의 시간에 대한 미분 값을 곱한 것이 입력전압이고, 상용 변압기의 2차 측에 감긴 권선수에 변압기의 철심에 흐르는 자속의 시간에 대한 미분 값을 곱한 것이 출력전압임을 뜻한다.



a)



b)

그림 3 a) PSIM을 사용한 상용 변압기에 10[kHz] 구형파의 입력에 따른 전류파형 Simulation, b) 실제 상용 변압기에 10[kHz] 구형파의 입력 실험을 통해 측정된 전류파형

그림 3a)에서는 10[kHz]의 PWM 구형파 입력 시 나타나는 전류파형이다. 그림2b)에서 설명했듯이 고주파의 영향으로 생긴 기생 성분으로 인해 구형파에 공진현상이 발생한 것을 알 수 있다. 그림 3b)는 실제 실험을 통해 측정된 전류파형으로 기본 60[Hz]의 주파수에 10[kHz]의 ripple 성분이 발생하는 것을 보여준다. 따라서, 이것으로 상용변압기에 10[kHz] 정현파가 입력이 되었다면 그 출력은 히스테리시스 손에 의해 변압기가 많은 열로 전력손실을 일으킬 수 있지만 10[kHz]의 PWM 구형파는 그에 비해 큰 전력 손실 없이 2차 측으로 출력을 내보낼 수 있다는 것을 알 수 있다.

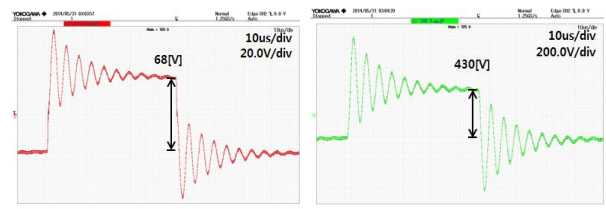
2.2 필터 위치에 따른 출력 특성

표 1은 가정용 ESS PCS의 출력특성 실험 조건을 보인다.

표 1. 실험 조건

Parameters	Value
V_{DC}	40[V _{DC}]
M_a	0.8
L_2	3[mH]
C_2	8.2[μF]
R_L	80[Ω]
$V_1 V_2$	30:220

그림 4은 본 연구에서 제시된 제안하는 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기의 1차 측과 2차 측 전압 파형이다. 그림 4a)와 그림 4b)는 제안된 ESS PCS 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기 1차 측과 2차 측의 전압 파형이며 10[kHz]의 구형파이다. 하지만 상용변압기에 고주파(10[kHz])가 입력 됨에 따라 기생 성분에 의한 공진현상이 발생함을 알 수 있다.



a)

b)

그림 4 a) 상용 변압기를 거친 10[kHz] 구형파의 1차 측 전압, b) 상용 변압기를 거친 10[kHz] 구형파의 2차 측 전압

3. 결론

본 논문에서는 가정용 ESS PCS의 고주파 PWM 스위칭에 따른 상용 변압기의 특성을 연구하였다. 제안하는 ESS PCS의 전력 회로 토폴로지에서 10[kHz]의 구형파가 상용 변압기에 입력될 때 상용 변압기 내의 기생 성분들의 증가로 공진이 발생한다는 것과 고주파인 구형파가 변압기를 통과하는 원리를 규명하였다. 본 연구에서는 상용 변압기의 철심을 일반적인 규소강판을 사용하였지만, 변압기 철심을 아몰퍼스 강판 등 고주파 특성이 좋은 코어를 사용한다면 제안된 전력회로 토폴로지가 전압 사용률 면에서도 우수한 성능이 보장될 것으로 사료된다.

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012R1A1A2039747).

참고 문헌

- [1] S.MLee, T.S.Yu and H.S.Kim, "A Design of Power Circuit and LCL Filter for Switching Mode PV Simulator", THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, Vol. 17, No. 5, pp. 431-437, 2012, Oct.
- [2] Yaosuo Xue; Liuchen Chan, Sren Baekhi Kiaer, J. Bordonau; T. Shimizu, "Topologies of single phase inverters for small distributed power generator; an overview", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, Sept. 2004, pp 1305-1314.
- [3] IEEE Standard P1547 Std: Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
- [4] Sung Jun Kim, Soo Jung Ryu, Tae Ho Kim, Jong Hyeon Kim, Wan Soo Nah, "High Frequency Parameter Extraction of Insulating Transformer Using S Parameter Measurement", THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE, Vol.3 No. 25, pp. 259-268, 2014, Mar