

# 상용변압기를 사용한 가정용 ESS PCS의 출력필터 특성

정해민, 이진성, 김효성  
공주대학교 전기전자제어공학부

## Characteristics of AC Filters on Residential ESS-PCS using Utility Transformer

Haemin Jung, Jinsung Lee, Hyosung Kim

School of EE and Control Engineering, Kongju National University

### ABSTRACT

3kWh 급 가정용 Energy Storage System (ESS)는 배터리팩의 수명 관리상 배터리팩의 전압을 48V의 공칭전압으로 설계하는 것이 일반적이다. 상용 변압기를 사용하여 48V의 낮은 직류 링크 전압을 갖는 ESS를 220V 교류 계통과 연계하기 위해서는 30V 정도의 낮은 인버터 출력단 교류전압을 220V로 승압하여야 한다. 이 경우 ESS의 교류 측 전압 및 전류 파형을 정형적으로 만들어주기 위한 LC 필터 요소로서 저전압/대전류 용 필터 인덕터를 제작하는 것이 쉽지 않다. 다시 말해, 성능이 보장된다면 교류 측 LC 필터를 상용 변압기의 고전압 측에 설치하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 상용 변압기를 사용하는 가정용 ESS의 교류 측 필터의 설치 위치에 따른 설계 및 제작 시 고려 사항과 특성에 대하여 연구하였다.

### 1. 서론

최근 급격한 에너지 사용으로 인해 전력수요가 전력설비의 공급능력을 초과하면서 대규모 정전 사태가 발생하는 일이 증가함에 따라, 전력망에서 수요와 공급의 완충역할을 하는 Energy Storage System (ESS)에 대한 관심이 높아지고 있다. 그중에서 가정용 ESS는 3kWh 정도의 용량이 선호되고 있다. 이러한 레벨의 용량을 갖는 ESS에서는 배터리팩의 수명 관리상 배터리팩의 전압은 48V의 공칭전압으로 설계하는 것이 일반적이다.

따라서 220V 교류 계통과 연계해야 하는 가정용 ESS는 DC/DC 컨버터를 사용하여 Power Conditioning System (PCS)의 직류 링크 측 저전압을 승압 시키거나, PCS의 교류 측에 상용 변압기를 사용하여 교류전압을 승압하여야 한다. 부피와 중량의 면에서는 DC/DC 컨버터를 사용하는 것이 유리하지만, 연속적인 전력 공급을 수행해야 하는 ESS의 신뢰성 측면에서는 수동부품인 상용 변압기를 사용하는 것이 바람직하다.

PCS의 교류 측 전압 및 전류 파형을 정형적으로 만들어주기 위한 LC 필터는 일반적으로 상용 변압기의 1차 측에 설치하여야 하지만, 가정용 ESS와 같이 PCS의 직류 링크 측 전압이 48V 정도로 낮아서 교류 측 전압이 30V 정도로 낮아지는 경우, 저전압/대전류 용 필터 인덕터를 제작하는 것이 쉽지 않다. 예를 들어 220V/2.5kW 조건에서 필터 인덕터가 3mH/12A로 설계되었다면 30V/2.5kW 조건에서는 등가적으로 필터 인덕터가 56μH/88A로 설계되어야 한다. 통상적으로 3mH/12A 급의 필터 인덕터는 표준적으로 많이 사용되며 제작하기도 간편하지만, 56μH/88A 급의 필터 인덕터는 제작하기가 용이하지 않으며 비용이 증가한다.

따라서 성능이 보장된다면 교류 측 LC 필터를 상용 변압기의 2차 측에 설치하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 상용 변압기를 사용하는 가정용 ESS PCS의 교류 측 필터의 설치 위치에 따른 설계 및 제작 시 고려 사항과 특성에 대하여 연구한다.

### 2. 필터의 위치에 따른 출력특성 실험

#### 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 b)는 제안된 ESS PCS의 전력 회로 토폴로지이다. 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 승압된 후 LC 필터를 거쳐 정현파를 출력하게 된다.

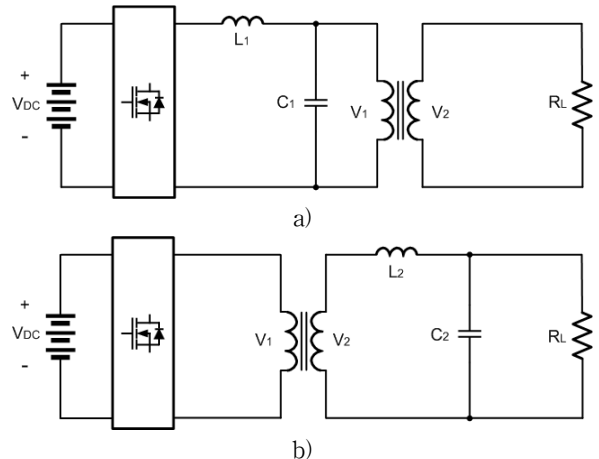


그림 1 ESS-PCS의 전력회로 토폴로지; a) 상용변압기 전단에 교류측 LC필터 설치, b) 상용변압기 후단에 교류측 LC필터 설치

#### 2.2 실험 조건

표 1. 실험 조건

Parameters	Value
$V_{DC}$	40[V <sub>DC</sub> ]
$M_a$	0.8
$L_1$	56[μH]
$C_1$	250[μF]
$L_2$	3[mH]
$C_2$	4.7[μF]
$R_L$	80[Ω]
$V_1 V_2$	30:220

표 1은 필터의 위치에 따른 가정용 ESS PCS의 출력특성 실험 조건을 보인다. 본 연구에서는 제시된 두 가지 전력 회로 토폴로지에 따라, LC 필터의 위치를 변압기의 1차측과 2차측에 각각 적용해가며 그에 따른 출력 전압의 비교 실험을 진행하였다.

### 2.3 필터의 위치에 따른 출력특성

그림 2에 부하 전압 파형을 비교하였다. 그림 2a)에 보이는 기존의 ESS PCS 전력회로 토폴로지에 따른 부하 전압의 RMS 값은 134.65[V]이고 그림 b)에 보이는 제안된 ESS PCS 전력회로 토폴로지에 따른 부하 전압의 RMS 값은 123.39[V]로서, 제안된 LC 필터 설치 방식이 기존 방식에 비하여 약 92%로 전압이 작게 출력되는 것을 볼 수 있다. 이는 제안한 ESS PCS 전력 회로 토폴로지가 기존 방식에 비하여 직류 링크 전압 사용률이 조금 낮아지는 것을 의미한다.

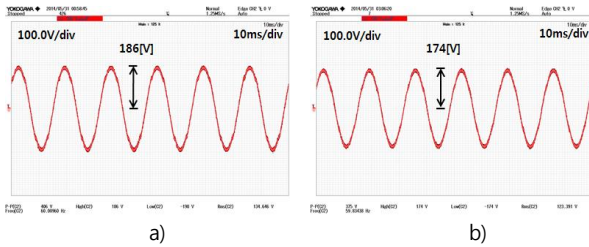


그림 2 부하전압 파형 비교; a) 기존의 ESS-PCS 전력회로 토폴로지, b) 제안된 ESS-PCS 전력회로 토폴로지

그림 3은 본 연구에서는 제시된 두 가지 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기의 1차 측 및 2차 측 전압 파형을 보인다. 그림 3a)는 기존의 ESS PCS 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기 1차 측의 전압 파형으로서 60[Hz]의 기본 주파수를 갖고 있다. 그림 3b)는 같은 조건의 2차 측 전압 파형이다. 기존의 ESS PCS 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기 1차 측 전압의 RMS 값은 18.88[V]이고 2차 측 전압의 RMS 값은 134.65[V]으로서 전압 변환비는 약 7.15 배이다.

한편, 그림 3c)는 제안된 ESS PCS 전력 회로 토폴로지에 따른 상용 변압기 1차 측 인가전압 파형으로서 기본적으로 10[kHz] 구형파임을 알 수 있다. 그림 3d)는 같은 조건의 2차 측 전압 파형으로서 역시 10[kHz]의 구형파가 전달되는 것을 볼 수 있다.

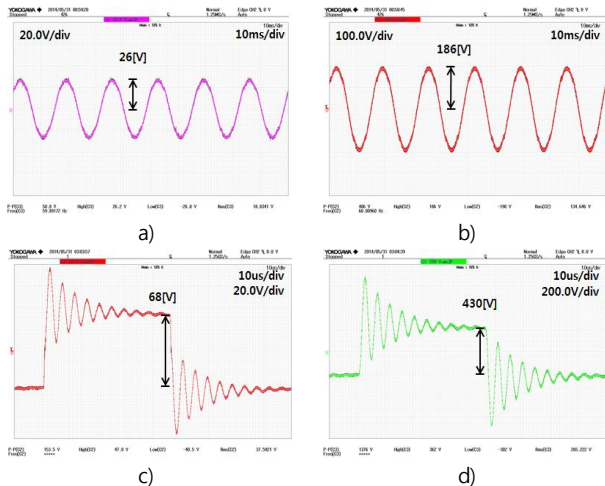


그림 3 a) 상용 변압기를 거친 60[Hz] 정현파의 1차 측 전압, b)상용 변압기를 거친 60[Hz] 정현파의 2차 측 전압, c) 상용 변압기를 거친 10[kHz] 구형파의 1차 측 전압, d)상용 변압기를 거친 10[kHz] 구형파의 2차 측 전압

표 2. 변압기의 승압비  $V_2/V_1$  실험 조건

	기존 ESS PCS 토폴로지	제안된 ESS PCS 토폴로지
전달 주파수	60[Hz] 정현파	10[kHz] 구형파
승압비(RMS)	7.15	7.05
부하전압	134.65[V]	123.39[V]
전압효율	100%	92%

표 2에 보이는 바와 같이 제안한 토폴로지의 1차 측과 2차 측 파형의 RMS 값을 비교하면 약 7.05배가 된다. 그러나 그림 3b)를 분석하면 1차 측 구형파의 평탄한 전압 구간에서 p p 값은 68[V]이고 2차 측의 구형파의 평탄한 전압 구간에서 p p 값은 430[V]으로 10[kHz] 스위칭 주파수대 기본구형파의 전압 변환비는 약 6.3 배로 나타난다.

이를 설명하기 위하여 10[kHz] 스위칭 주파수대 구형파가 상용 변압기의 1차 측에서 2차 측으로 승압 될 때 공진 성분의 크기를 비교하였다. 그림 4에서 2차 측 구형파의 스케일을 조정하여 1차 측 구형파와 2차 측 구형파의 평탄한 안정점을 일치시켜서 기본 구형파의 승압비를 Normalize 시킴으로써 공진 성분 만의 차이를 분석하였다. 그림4에서 볼 수 있듯이 2차 측 구형파의 진동이 1차 측의 진동에 비해 더 크므로 이로 인한 RMS 값의 증가가 구형파의 전압 변환비를 증가시키게 된다.

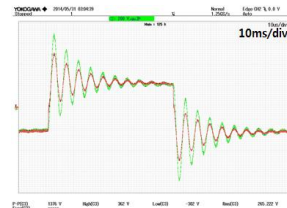


그림 4 상용 변압기를 거친 10[kHz] 구형파의 1차측과 2차측의 공진성분 분석

결론적으로 그림 3c)의 RMS값은 37.59[V]이고 그림 3d)의 RMS값은 265.2[V]으로서 10[kHz] 구형파의 전압변환비는 약 7.05배가 된다. 이 결과로 60[Hz] 정현파와 10[kHz] 구형파가 상용 변압기를 거쳤을 때의 전압 변환비의 차이는 약 92%가 되는 것을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 상용 변압기를 사용한 가정용 ESS PCS의 필터의 위치에 따른 출력전압 특성을 연구하였다. 기존의 전력회로 토폴로지와 제안된 전력회로 토폴로지의 부하 측 출력전압은 약 92%의 차이가 발생함을 확인하였다. 제안한 전력 회로 토폴로지는 부하 측 출력전압이 92% 정도로서 전압 사용률 면에서는 약간 불리하지만, 가정용 ESS PCS를 구축하는데 있어서 제작하기가 용이하지 않고 비용이 증가하는 저전압/대전류형 필터 인덕터를 사용하는 대신에, 표준적으로 많이 사용되며 제작하기도 간편하여 비용이 적게 드는 220V 용 필터 인덕터를 사용할 수 있다는 장점을 제공한다. 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.