

단상 AC/DC 정류기 시스템에서 저주파 출력전압 리플 저감을 위한 새로운 전향보상 제어기법

윤종태, 이귀준
한국교통대학교

A New Feedforward Method for Low Frequency Output Voltage Ripple Reduction in Single-Phase AC/DC Rectifier System

Jong-Tae Yoon, Kui-Jun Lee
Korea National University of Transportation

ABSTRACT

본 논문에서는 PFC와 LLC공진형 컨버터로 구성되는 단상 AC/DC 정류기 시스템에서 발생하는 출력전압 120Hz 리플 저감에 관한 전향보상 제어기법을 제안한다. 제안하는 방법은 입/출력 전력 차이를 이용하여 DC-link의 전압 리플을 계산하고, 선형화된 LLC공진형 컨버터의 주파수 이득 곡선을 기반으로 120Hz에 대한 리플 성분을 전향 보상하여 저감 시키는 방법이며, 시뮬레이션을 이용하여 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

단상 교류 전원을 사용하는 AC/DC 시스템은 정류하는 과정에서 DC-link 전압이 120Hz의 리플을 갖는다. 120Hz 리플이 발생 되는 이유는 PFC 입력전력과 LLC 출력전력의 차이에 의해 발생 되며, 120Hz 리플을 가지고 있는 DC-link 커패시터를 전압원으로 이용하는 DC/DC 컨버터의 경우 컨버터의 출력전압 역시 120Hz의 리플을 가질 수 있다.

본 논문에서는 입/출력전력 차이를 이용하여 DC-link 전압 리플을 계산하고 선형화된 LLC 공진형 컨버터의 특성곡선을 이용하여 DC/DC 컨버터의 최종 출력단의 120Hz 전압 리플을 저감 하였으며, 모의해석을 통해 출력전압 리플 감소 효과를 검증하였다.

2. LLC 공진형 컨버터의 출력전압 120Hz 리플 감소기법

2.1 DC-link 리플전압 계산

그림 1은 입/출력 전력, DC-link 전압, Pin-Pout의 파형을 나타내고 있다. DC-link단 리플전압의 크기는 입/출력 전력과 DC-link단 커패시터의 크기를 알면 구할 수 있다. DC-link 리플전압 계산을 위한 과정은 다음과 같다.

$$P_{av} = \int_{t_1}^{t_2} P_{in} - P_{out} \quad (1)$$

$$t_1 \sim t_2 \text{에서의 에너지} = \frac{P_{av}}{T/4} \quad (2)$$

$$V_{dc-link} \text{에서의 Cap 에너지} = \frac{1}{2} C (V_{dc-link})^2 \quad (3)$$

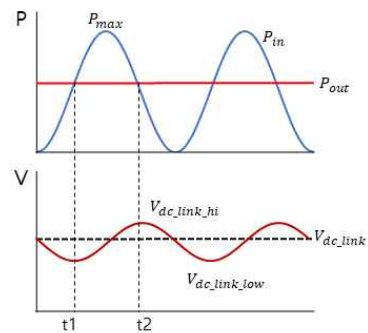


그림 1 입력/출력 전력, $V_{dc-link}$ 전압
Fig 1 Input/output power, $V_{dc-link}$ voltage

$$V_{dc-link\ low} \text{의 Cap에너지} = \frac{1}{2} C (V_{dc-link})^2 - \frac{P_{av}}{T/4} * \frac{1}{2} \quad (4)$$

$$V_{dc-link\ low} = \sqrt{\frac{C(V_{dc-link})^2 - (\frac{P_{av}}{T/4})}{C}} \quad (5)$$

$$V_{dc-link\ hi} = \sqrt{\frac{C(V_{dc-link})^2 + (\frac{P_{av}}{T/4})}{C}} \quad (6)$$

$t_1 \sim t_2$ 에서 $P_{in} - P_{out}$ 의 평균전력을 구한 후 평균전력을 에너지로 변환해준다. $t_1 \sim t_2$ 에서의 에너지는 $V_{dc-link\ low}$ 의 전압이 $V_{dc-link\ hi}$ 로 올라갈 때의 DC-link 커패시터 에너지변화량이다. $V_{dc-link}$ 전압에서의 에너지와 DC-link 커패시터 에너지변화량을 이용하면 $V_{dc-link\ low}$ 의 값을 알 수 있다. $V_{dc-link\ hi}$ 마찬가지로 $t_1 \sim t_2$ 에서의 에너지의 에너지변화량을 이용하여 구할 수 있다.

2.2 LLC 공진형 컨버터 특성곡선 선형화

그림 2는 LLC 공진형 컨버터의 전압이득 M_g , 주파수 이득 f_n 특성곡선이다. LLC 공진형 컨버터는 스위칭 주파수를 제어하여 출력전압을 조절하는 PFM(Pulse Frequency Modulation) 방식으로, DC-link에 120Hz 리플이 생기면 M_g 와 f_n 이 변하게 되며 출력전압에도 120Hz 리플이 생긴다.

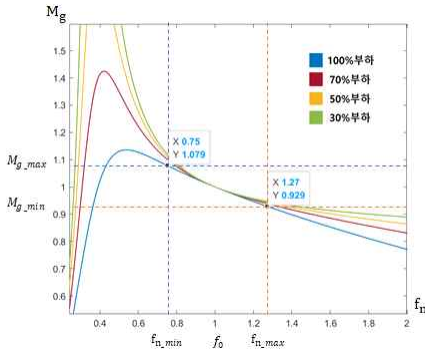


그림 2 전압이득, 주파수이득 특성곡선
Fig 2 Voltage gain, frequency gain characteristic curve

2.1절에서 구한 $V_{dc-link low}$ 값과 $V_{dc-link hi}$ 값을 이용하면 아래 식에서 M_{g-max} 와 M_{g-min} 을 구할 수 있다.

$$M_{g-max} = \frac{V_o^* n}{V_{dc-link low}} \quad (7)$$

$$M_{g-min} = \frac{V_o^* n}{V_{dc-link hi}} \quad (8)$$

계산한 M_{g-max} 와 M_{g-min} 을 이용하여 f_n 에 대해 구간 선형화를 한다면 $V_{dc-link}$ 변동 시 스위칭 주파수 변동량을 알 수 있으며 그림 3에서의 전압제어기에서 스위치 주파수 변동량을 전향보상 해줄 수 있다.

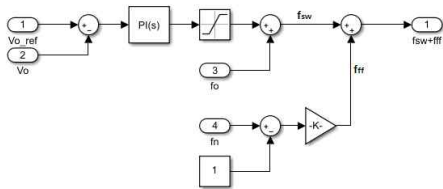


그림 3 전압제어기 블록 다이어그램
Fig 3 Block diagram of voltage controller

3. 모의해석

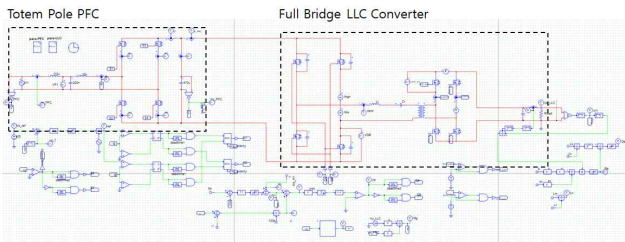
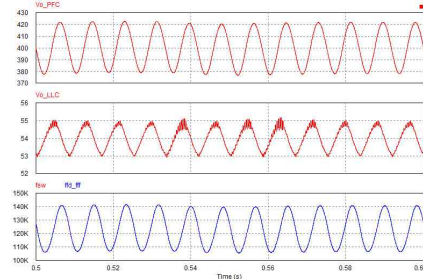
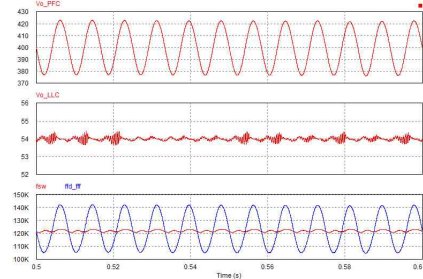


그림 4 Totem pole PFC&LLC full bridge 컨버터 회로도
Fig 4 Totem pole PFC&LLC full bridge converter schematic

본 논문에서는 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 모의해석을 진행하였다. AC/DC 토폴로지는 Totem Pole PFC 컨버터를 DC/DC 토폴로지는 LLC Full Bridge 컨버터를 이용하였다. 모의해석 결과 기존의 PI제어기를 적용했을 때의 출력전압 리플은 약±1V이며 제안한 리플 저감 방법을 적용했을 때의 출력전압 리플은 약 ±0.3로V 출력단 리플이 ±0.7V 개선됨을 알 수 있다.



(a) PI controller



(b) Proposed Controller

그림 6 출력전압 리플 파형 비교
Fig 6 Comparison of output voltage ripple wave form

Power	3[kW]
Vdc_link	400[V]
Vin_link_hi	420[V]
Vin_link_low	378[V]
f0	124[kHz]
Vo	54[V]
DC_link Capacitor	470[uF]

표 1 LLC 공진형 컨버터 파라미터
Table 1 Main Parameter of LLC resonant converter

4. 결론

본 논문에서는 임/출력 전력 차이를 이용하여 스위칭 주파수 변동량을 전향 보상하는 방식으로 출력전압의 120Hz 리플을 저감 하는 제어기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20192010106690)
본 연구는 2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였습니다.

참고 문헌

[1] Hong Huang, "Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter", 2010 Texas Instruments Power Supply Design Seminar SEM1900, Topic 3, TI Literature Number: SLUP263
[2] B. Su, J. Zhang and Z. Lu, "Totem-Pole Boost Bridgeless PFC Rectifier With Simple Zero-Current Detection and Full-Range ZVS Operating at the Boundary of DCM/CCM," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 2, pp. 427-435, Feb. 2011, doi: 10.1109/TPEL.2010.2059046.