

확산 스펙트럼을 이용한 계통연계형 컨버터

김민아¹, 안채현¹, 박화평²
 국립한밭대학교¹, 금오공과대학교²

Grid-Connected AC/DC Converter using Spread Spectrum

Mina Kim¹, Chaehyun Ahn¹, Hwa-Pyeong Park²
 Hanbat National University¹, Kumoh National Institute of Technology²

ABSTRACT

확산 스펙트럼은 전력변환장치의 스위칭 주파수를 변조하여 전력변환장치에서 발생하는 전자기잡음의 최댓값을 감쇄할 수 있는 기술이다. 하지만 계통연계형 컨버터에 확산 스펙트럼 적용 시 스위칭 주파수 변조에 따른 출력 전압 리플, THD 증가 등의 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 확산 스펙트럼을 적용한 계통연계형 컨버터의 확산 스펙트럼 변조 지수에 따른 전자기잡음의 저감과 출력 전압 리플 및 THD 증가를 분석하고자 한다.

1. 서론

확산 스펙트럼은 전력변환장치의 스위칭 주파수를 주기적 또는 비주기적 변조하여 전력변환장치에서 발생하는 전자기잡음 (Electromagnetic interference, EMI) 의 대역폭을 늘린다. 이를 통해 EMI의 최댓값을 추가 회로나 구성요소 없이 저감할 수 있다. 그림 1은 확산 스펙트럼의 주파수 변조를 나타낸다. 이 때, 변조 패턴은 삼각파, 사인파 등의 주기적 변조나 랜덤 함수를 이용한 비주기적 변조를 모두 포함하며, f_c 는 중심 주파수, f_m 는 주파수 변조 속도, Δf 는 주파수 변조 폭을 의미한다.

확산 스펙트럼의 기존 연구에 따르면 확산 스펙트럼의 EMI 변조 성능은 변조지수 $m (= \Delta f / f_m)$ 에 비례한다. 하지만 측정 장치의 resolution of bandwidth (RBW)를 고려하였을 때, f_m 이 측정 대역의 RBW보다 비슷할 때 동일한 m 조건에서 보다 높은 EMI 저감 성능을 가진다^[1]. 따라서 산업, 과학, 의료 분야 기기의 대표적인 EMI 기준인 CISPR 11의 RBW에 따라 전력 변환장치용 확산 스펙트럼의 주파수 변조는 주로 f_m 을 9 kHz 이상으로 선정한다. 본 논문에서는 기존 설계와 같이 RBW를 수 kHz의 고주파로 선정하였을 때와 3상 계통 주파수에 연계하여 360 Hz로 선정하였을 때를 비교 분석하고자 한다.

2. 계통연계형 컨버터의 확산 스펙트럼

그림 2는 3상 계통연계형 AC/DC 컨버터의 구성도 및 전력 단 설계를 나타내며, 표 1은 본 논문에서 비교하는 두 가지의 확산 스펙트럼 주파수 변조를 간략화하였다. 높은 f_m 을 갖는 확산 스펙트럼은 EMI 측정 규격의 RBW에 따라 9 kHz로 선정하였다. 반면 낮은 f_m 을 갖는 확산 스펙트럼은 3상 계통연계형 컨버터의 교류 측 전류 I_r , I_s , I_t 의 합산 주파수가 360 Hz임에

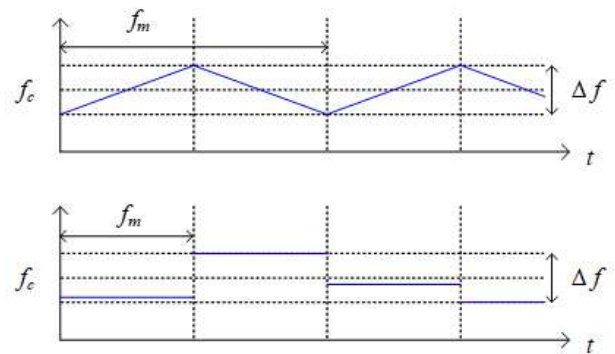


그림 1 확산 스펙트럼의 스위칭 주파수 변조
 Fig. 1 Switching frequency modulation using spread spectrum

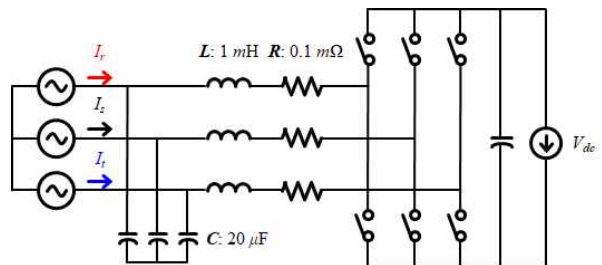


그림 2 3상 계통연계형 컨버터의 전력단 구성
 Fig. 2 Power stage configuration of three-phase grid-connected converter

표 1 확산 스펙트럼의 주파수 변조 변수
 Table 1 Frequency modulation parameters of spread spectrum

	고주파 변조	저주파 변조	
f_m	9 kHz	f_m	360 Hz
Δf	12 kHz, 36 kHz	Δf	12 kHz, 36 kHz
변조 파형	삼각파	변조 파형	삼각파
비고	-		계통 위상에 동기

서 착안하여 f_m 을 360 Hz로 설계하고 이를 계통 주파수와 동기화하였다.

그림 3은 3상 계통연계형 AC/DC 컨버터의 고정 주파수 동작 시 정상상태 파형을 나타낸다. 이 때, 전도 잡음을 간접적으로 확인하기 위해 교류 전류의 FFT 결과를 함께 표시하였다.

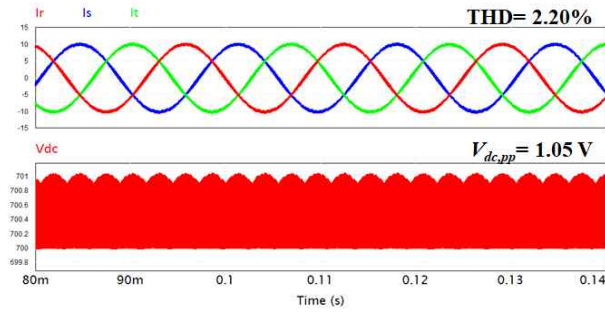


그림 3 고정 주파수 동작 시 정상상태 파형
Fig. 3 Steady-state waveforms with a fixed frequency

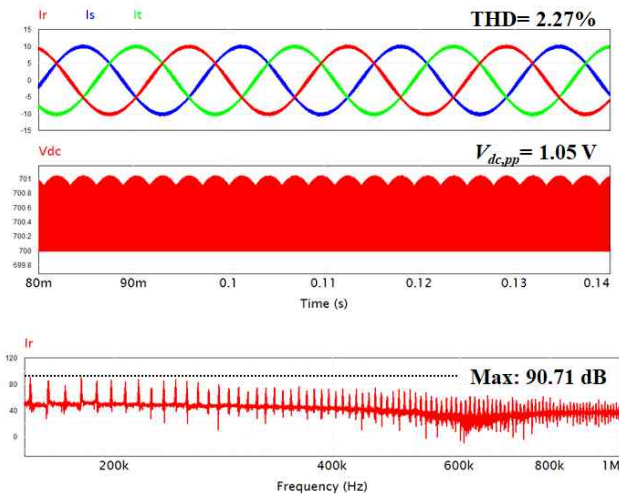


그림 4 확산 스펙트럼의 고주파 변조 시 (높은 f_m) 정상상태 파형
Fig. 4 Steady-state waveforms under high frequency modulation of spread spectrum (high f_m)

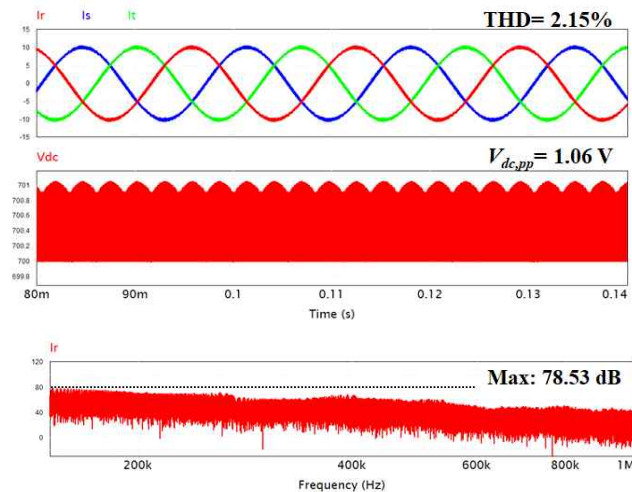


그림 5 확산 스펙트럼의 저주파 변조 시 (낮은 f_m) 정상상태 파형
Fig. 5 Steady-state waveforms under low frequency modulation of spread spectrum (low f_m)

표 2 주파수 변조 변수에 따른 시뮬레이션 결과

Table 2 Frequency modulation parameters of spread spectrum

고정 주파수	THD	2.20 %
고주파 변조 (f_m 9 kHz, Δf 12 kHz)	FFT 최대값	98.59 dB
	THD	2.13%
고주파 변조 (f_m 9 kHz, Δf 36 kHz)	FFT 최대값	92.09 dB
	THD	2.27%
저주파 변조 (f_m 360 Hz, Δf 12 kHz)	FFT 최대값	90.71 dB
	THD	2.15%
저주파 변조 (f_m 360 Hz, Δf 36 kHz)	FFT 최대값	78.74 dB
	THD	2.15%
	FFT 최대값	78.53 dB

그림 4와 그림 5는 확산 스펙트럼의 고주파 및 저주파 변조 시 정상상태 파형을 나타낸다. 또한 표 2는 확산 스펙트럼의 변조 변수에 따른 시뮬레이션 결과를 요약하였다. 정상상태 파형에 따르면 출력 전압 리플은 확산 스펙트럼에 따라 크게 변동하지 않는다. 이는 계통 연계형 컨버터의 전압 이득이 동작 주파수에 무관하기 때문으로 보인다. THD 및 교류 전류의 FFT 피크 저감 성능은 변조 지수에 따라 크게 달라진다. 고주파 및 저주파 변조에서 모두 Δf 가 증가할수록 m 이 증가하기 때문에 FFT 최대값이 줄어든다. Δf 가 증가할수록 주파수의 변조 폭이 늘어나기 때문에 고주파 변조에서는 THD가 증가하나, 저주파 변조에서는 THD가 거의 증가하지 않았다.

저주파 변조는 확산 스펙트럼으로 인한 THD 증가분을 다소 억제할 수 있는 것으로 보인다. 또한 동일한 Δf 조건에서 높은 m 을 확보할 수 있으므로 RBW를 고려하지 않은 조건에서 표 2와 같이 높은 EMI 저감 성능을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 EMI 규격은 측정 방법, RBW를 포함한 측정 규격과 변수 등을 모두 제한하고 있으므로 RBW를 고려하였을 때 EMI 저감 성능이 표 2와는 상이할 것으로 예상된다.

3. 결론

본 논문에서는 계통연계형 AC/DC 컨버터의 확산 스펙트럼 적용을 목표로 확산 스펙트럼의 주파수 변조 변화에 따른 컨버터의 정상상태 파형 변화를 확인하였다. 확산 스펙트럼의 주파수 변조 폭(Δf)이 증가할 경우 변조 지수(m)가 증가하여 확산 스펙트럼의 고주파 변조 및 저주파 변조 모두 EMI 저감 성능이 증가한다. 반면 THD의 경우 고주파 변조 시 변조 폭(Δf)에 비례하여 THD가 증가하나 저주파 변조 시 THD 증가를 억제할 수 있다.

참고 문헌

[1] F. Pareschi, R. Rovatti and G. Setti, "EMI Reduction via Spread Spectrum in DC/DC Converters: State of the Art, Optimization, and Tradeoffs," in IEEE Access, vol. 3, pp. 2857-2874, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2512383.