

영상전류 억제기법을 적용한 단전원 듀얼 인버터의 전류 특성 분석

한선재, 홍이준, 박상진, 박유림, 조영훈
건국대학교

Analysis of Current Characteristics of Single Source Dual Inverter Using Zero Sequence Current Suppressing Method

Sunjae Han, Ijun Hong, Sangjin Park, Yurim Park, Younghoon Cho
Konkuk University

ABSTRACT

본 논문에서는 단전원 듀얼 인버터의 영상전류 억제기법에 대해 소개하고, 이를 적용한 개방권선형 영구자석 동기전동기의 전류 특성을 분석한다. 현재 연구되고 있는 영상전류 억제기법들 중 대표적으로 옹셋전압을 인가하는 기법을 선정하여 분석하였으며, 분석 결과는 MATLAB 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

개방권선형 영구자석 동기 전동기(Open-End Winding Permanent Magnet Synchronous Motor, OEW-PMSM)의 구동을 위한 듀얼 인버터는 기존 인버터에 비해 높은 전압 선행영역을 가져 고전압 시스템에서 DC-DC컨버터를 대체할 수 있다는 장점을 가진다. 특히 듀얼 인버터 토폴로지 중 단전원 듀얼 인버터는 구성이 간단하며 시스템의 부피와 비용을 절감할 수 있어 다양한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 단전원 듀얼 인버터에서 데드타임에 의한 영상전류를 억제하기 위한 기법들^{[1][2]}을 소개하고, 그 중 하나를 적용한 단전원 듀얼 인버터의 전류 특성을 분석한다. 대표적으로 옹셋전압을 인가하는 기법^[1]을 선정하여 분석하였으며, 분석 결과는 MATLAB 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 단전원 듀얼 인버터의 전압 성분 분석

단전원 듀얼 인버터를 활용한 OEW-PMSM의 구조는 그림 1과 같다. 모터의 중성점을 개방하여 두개의 인버터에 연결한 구조이며, 두 인버터는 단일 전원에 의해 전력을 공급받는다. 듀얼 인버터 각 상의 출력전압(V_A, V_B, V_C)은 식 (1)과 같이 인버터 1의 지령전압(V_{A1}, V_{B1}, V_{C1})과 인버터 2의 지령전압(V_{A2}, V_{B2}, V_{C2})의 차로 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} V_A = V_{A1} - V_{A2} \\ V_B = V_{B1} - V_{B2} \\ V_C = V_{C1} - V_{C2} \end{cases} \quad (1)$$

이 때 영상전압은 식 (2)와 같이 3상 출력전압의 평균으로

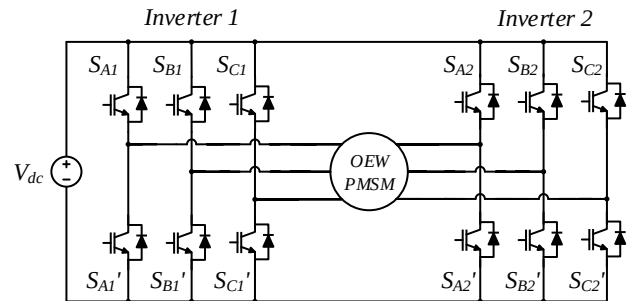


그림1 단전원 듀얼 인버터를 활용한 OEW-PMSM 시스템
Fig.1 System of OEW-PMSM with single source dual inverter.

나타나게 된다.

$$V_0 = \frac{V_A + V_B + V_C}{3} \quad (2)$$

영상전압은 영상전류를 발생시켜 토크 리플 증가, 시스템 효율 감소 등의 문제를 일으키게 된다. 따라서 일반적인 단전원 듀얼 인버터의 SVPWM기법을 적용할 경우, 영상전압이 발생하지 않도록 한정된 스위칭 조합을 사용하여야 한다.^[2]

한정된 스위칭 조합을 사용할 경우, 인버터 2의 지령 전압이 인버터 1의 지령전압보다 120° 앞서 식 (3)을 만족하게 된다.

$$\begin{cases} V_{A1} = V_{B2} \\ V_{B1} = V_{C2} \\ V_{C1} = V_{A2} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 데드타임에 의해 발생하는 영상 전압

이상적인 듀얼 인버터의 경우, 2.1절에서 언급한 일반적인 단전원 듀얼 인버터의 SVPWM 기법을 적용하였을 때 영상전압이 발생하지 않지만, 실제 시스템에서는 데드타임이 고려되기 때문에 영상전압이 발생한다.^[2] 이 때 한 스위칭 주기동안 발생하는 영상전압의 평균 $V_{zs, Avg}$ 는 식 (4)와 같다.

$$V_{zs, Avg} = \frac{2T_d}{T_{sw}} V_{dc} \quad (4)$$

여기서 T_{sw} 는 스위칭 주기, T_d 는 데드타임, V_{dc} 는 직류단 전압의 크기이다. 데드타임에 의해 발생하는 영상전압은 영상전류를

발생시켜 시스템에 악영향을 미치기 때문에 이를 억제하기 위한 다양한 기법들이 연구되고 있다.

2.3 데드타임에 의한 영상전류 억제 기법 소개

2.3.1 옵셋전압 인가 기법^[1]

본 절에서 소개하는 기법은 일반적인 단전원 듀얼 인버터의 SVPWM 기법을 토대로 하며, 인버터 1의 스위칭 반 주기동안 옵셋전압을 인가하여 영상전압의 평균값을 0으로 만드는 기법이다. 벡터의 영역을 -30° 부터 60° 간격으로 6개의 영역으로 나눈 뒤, 각 영역별로 계산된 옵셋전압을 인가한다. 인버터1에 인가하는 영역별 옵셋전압의 크기는 식 (5)와 같다.

$$V_{offset} = \begin{cases} \frac{8T_d}{3} \frac{V_{dc}}{2} f_{sw} (\text{Current Sector} = II, IV, VI) \\ -\frac{8T_d}{3} \frac{V_{dc}}{2} f_{sw} (\text{Current Sector} = I, III, V) \end{cases} \quad (5)$$

여기서 f_{sw} 는 스위칭 주기이다.

2.3.2 영벡터 인가 시간 조절 기법^[2]

본 절에서 소개하는 기법은 영상전압을 0으로 만들기 위한 한정된 스위칭 조합을 사용하지 않고, 발생하는 영상전류를 PI 제어기를 통해 0에 수렴하도록 제어한다. PI 제어기를 통과하여 나온 결과값은 영상전압 지령 값으로 출력되며, 출력된 영상전압 지령 값을 이용해 한 스위칭 주기 내의 영벡터 인가 시간을 조절하여 한 스위칭 주기 내에서 영전압 평균값을 0으로 만드는 기법이다.

3. 시뮬레이션

2.3절에서 소개한 영상전류 억제기법들 중 옵셋전압 인가 기법^[1]을 선정하여 MATLAB으로 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 2의 제어 블록도를 토대로 회로를 구성하였으며, 효과적인 분석을 위해 일반적인 단전원 듀얼 인버터의 SVPWM 기법을 기준으로 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 OEW-PMSM의 파라미터와 실험 조건은 표 1과 같다.

표 1 모터 파라미터 및 실험 조건

Table 1 Motor parameters and system specification

V_{dc}	24V	T_d	$3\mu s$
L_s	0.32mH	R_s	0.095Ω
f_{sw}	10kHz	ω_{rated}	2000rpm

그림 3(a)와 그림3(b)는 각각 일반적인 단전원 듀얼 인버터의 SVPWM 기법과 영상전류 억제기법을 적용한 OEW-PMSM의 속도가 지령값인 2000rpm에 도달하였을 때 측정된 3상전류와 영상전류의 파형을 나타낸 그림이다. 영상전류 억제기법을 적용했을 때 영상전류의 피크값이 2.65A에서 0.88A로 감소하였다. 또한 상전류의 THD 역시 25.79%에서 11.92%로 13.87%p 감소하였다.

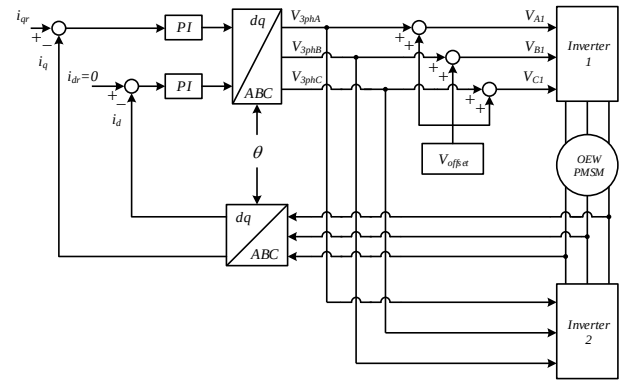
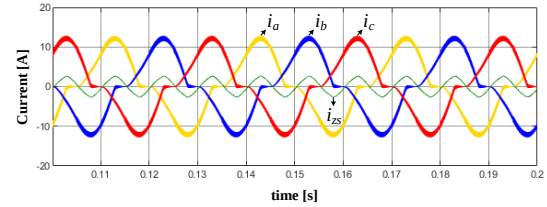
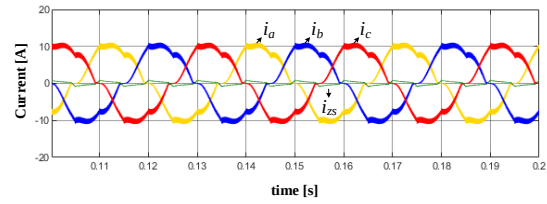


그림2 영상전류 억제기법을 적용한 OEW-PMSM 시뮬레이션 제어블록도
Fig.2 OEW-PMSM simulation control block diagram using zero sequence current suppressing method



(a)



(b)

그림3 OEW-PMSM 시뮬레이션 결과 그래프 (a) SVPWM (b) 영상전류 억제기법

Fig.3 Graph of OEW-PMSM simulation results (a) SVPWM (b) Zero sequence current suppressing method

4. 결론

본 논문에서는 OEW-PMSM의 데드타임에 의한 영상전류 억제기법에 대해 소개하고, 시뮬레이션을 통해 영상전류 억제기법을 적용하였을 때 SVPWM에 비해 영상전류의 크기와 상전류의 THD가 감소하는 것을 확인하였다.

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 「대학혁신지원사업」의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] B. -R. Yoon, J. -H. Lee, T. -H. Kim and J. -S. Lee, "Power Loss Balancing Method of Single Source Dual Inverter driving OEW PMSM" Power Electronics Conference, (2022):40-42.
- [2] Q. An, J. Liu, Z. Peng, L. Sun, and L. Sun, "Dual-space vector control of open-end winding permanent magnet synchronous motor drive fed by dual inverter,"IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 31, No. 12, pp. 8329-8342, Dec. 2016.