

HEV 소음저감을 위한 랜덤PWM기반 전류제어기법에 관한 연구

윤대식* 추대혁* 김준석* 김현수**
국립인천대학교* 현대자동차**

A study on current control method based on Random-PWM for HEV Sonic Noise Reduction

Daesik Yoon* Daehyeok Choo* Joohnsheok Kim* Hyunsu Kim**
Incheon National University* Hyundai Motor Company**

ABSTRACT

HEV를 구동시키는 인버터 시스템은 고정 주파수로 스위칭하는 PWM(Pulse Width Modulation)방식으로 구동이 된다. 고정주파수를 이용한 PWM은 전류제어의 주기가 일정하기 때문에 디지털 화가 쉬운 장점을 가지고 있다. 하지만 그로인한 특정 주파수 부분에 고조파가 생성이 되게 되는데 이 고조파로 인해 소음이 유발된다. 하지만 이 소음을 억제하기 위해서 랜덤PWM을 사용하게 되면 전류 제어가 고정주파수로 스위칭하는 PWM에 비해서 완벽하게 되기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 HEV의 소음을 저감시키면서 동시에 전류제어도 가능한 랜덤PWM기반의 전류제어 방법을 연구하였다.

1. 제안된 PR-PWM의 스위칭 기법

본 논문에서는 구동모터의 소음을 저감하며 제어 성능에 영향을 거의 주지 않는 새로운 PWM방식인 PR(Programmed Random) PWM을 제안하였다.

제안하는 RPWM기법은 원하는 주파수 대역이 균등하게 분포하도록 PWM 주파수 패턴을 미리 결정하는 Programmed Random PWM(이하 PR PWM) 방식을 도입하였다.

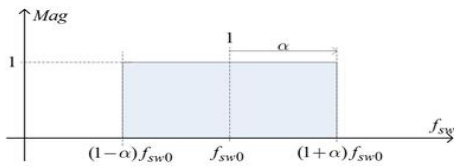


Fig.1 PRPWM 주파수 분포 개념

기본 원리는 Fig.1과 같이 기본주파수를 설정하고 0~1사이의 밴드비율 α 를 이용하여 원하는 주파수 대역에서 균등한 주파수가 분포되도록 PWM주파수를 미리 프로그래밍하는 방식으로 식은 다음과 같다.

$$f_{swN} = (1 - k_N \times \alpha) \times f_{sw0} \quad (1)$$

$$T_{swN} = 1/f_{swN} \quad (2)$$

여기서 f_{sw0} 는 기본 샘플링 주파수, f_{swN} 은 가변주파수, k_N 은 1~1까지의 상수이며 본 논문에서는 $\{k_N = 1.0, 0.8, \dots, 0.0, \dots, 0.8, 1.0\}$ 으로 적용되었다. 밴드비율 α 는 0.3으로 설정을 하였다. 주파수 세트는 11개로 구성을 하였고, 더욱 세분화하여 구성하는 것도 가능하다. 하지만 주파수의 개수를 구성을 할 때 구성된 평균주파수는 기본 주파수로 고정을 시켜야한다.

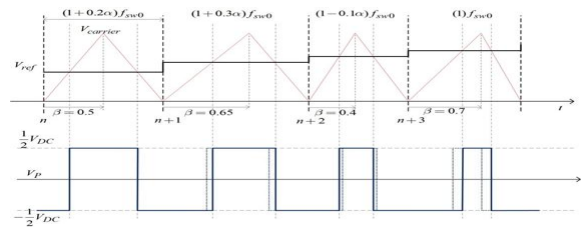


Fig.2 PRPWM의 β 적용 방법

$$T_{swF} = \beta T_{sw} \quad (3)$$

$$T_{swB} = (1 - \beta) T_{sw} \quad (4)$$

또한 β 값에 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7의 5단계로 가변된 β 값을 Fig.2와 식(2)와 (3)으로 적용시켜준다면 Pulse Position또한 변경 해주어 기존 랜덤 주파수대역 11개와 Pulse Position을 위한 β 값을 추가하면 $11 \times 5 = 55$ 개의 주파수 대역 밴드가 만들어져 더욱 개선된 효과를 볼 수 가 있다.

2 PR-PWM기반 전류제어기

Random PWM에서는 주기 자체가 변경되므로 샘플링 주파수를 고정하기가 매우 어렵다.

디지털 전류제어기에서의 문제는 샘플링 주파수가 주기마다 바뀌면 내부 제어 상태변수에 오류가 발생한다는 것이며 이러한 문제 실제적으로 PI전류제어기에서 적분기의 동작 오차가 발생할 수 있다.

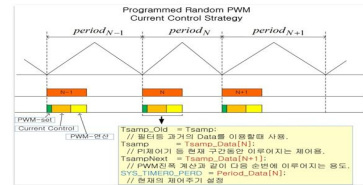


Fig.3 Programmed Random PWM Current Control Strategy

이러한 문제를 해결하는 간단한 방법은 디지털 연산에서 사용되는 샘플링주기 T_{samp} 를 해당정보가 유효한 구간에 맞추어 개별적으로 변경해주는 것이다. 예를 들어 과거의 (N-1)번째 주기의 정보를 기준으로 동작하는 알고리즘은 $T_{samp(N-1)}$ 을 사용하고 현재 시점을 기준으로 한 정보를 처리할 때는 $T_{samp(N)}$ 을, 미래 (N+1)번째 시점을 기준으로 작

하는 정보에는 $T_{samp(N+1)}$ 을 적용하는 것이다. 일반적인 Random PWM에서는 미래의 시점에 대하여 샘플링시간을 미리 알기 어려운 문제가 있으나, Programmed Random PWM의 경우 미래 시점에서의 샘플링시간(PWM주기)에 대한 정보를 미리 알 수 있으므로 이러한 가변 샘플링주기를 사용하는 기법이 가능하다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다.

파라미터	값
8-PolePair	16
R_s	0.02 [Ω]
L_d	0.19e-3 [H]
L_q	0.23e-3 [H]
ϕ_f	0.04 [Weber]
최대출력	170 [Nm]
등가관성	0.04

Table.1 시뮬레이션 파라미터

3000RPM, 100Nm 부하에서 상전류 FFT분석
(상전류 기본 주파수 400Hz)

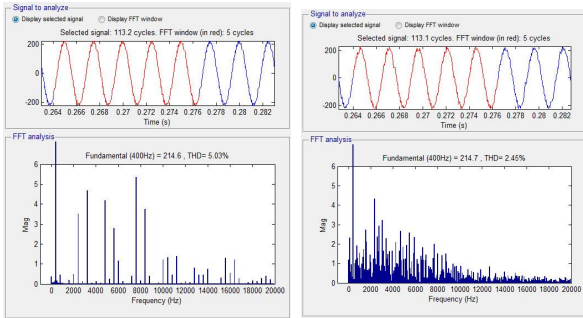


Fig.4 4kHz Fixed PWM 상전류 FFT분석

Fig.5 4kHz PR-PWM 상전류 FFT분석

Fix PWM과 PR PWM에서 측정된 전류 파형을 FFT로 분석한 결과 스위칭 소음이 발생하는 4kHz 및 8kHz대역의 특정 고조파를 제거하여 소음의 크기를 대폭 감소시킬 수 있다. 또한 전류 THD가 감소하는 효과를 얻을 수 있다.

무부하에서 6000RPM 가속 시뮬레이션

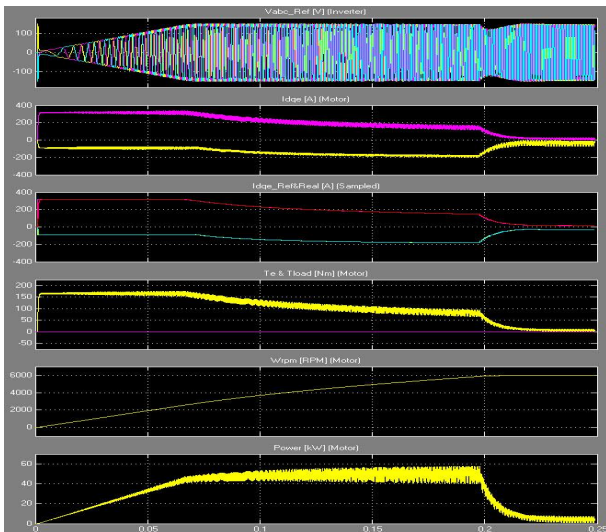


Fig.6 4kHz Fixed PWM (고정주파수)

Fig5와 Fig6의 파형은 순서대로 Vabc_Ref[V], Idqe[A], Sampled Idqe_Ref&Real[A], Te&Tload, Wrem[RPM], Power[kW]을 나타낸다.

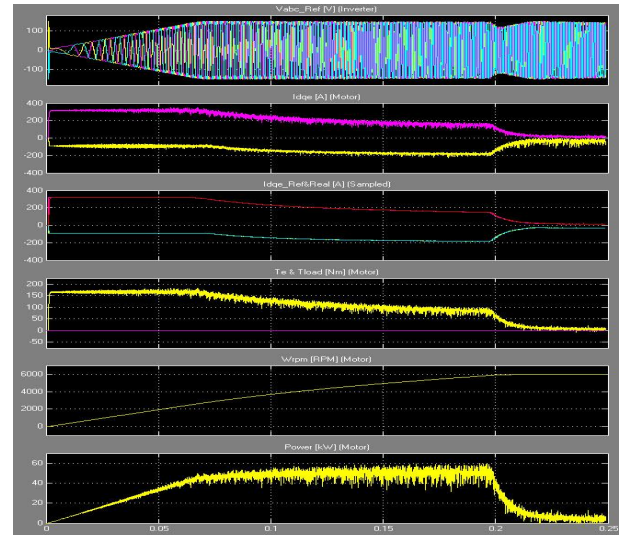


Fig 7 4kHz PR-PWM (30%균등분포)

그림 Fig.5 와 Fig.6은 제어 성능을 보이기 위해 무부하로 가속운전을 시행하였다. 시뮬레이션 시간을 줄이기 위해 관성을 임의로 조작을 하였다. 위 그림에서 3번째 파형인 샘플링된 전류 파형은 PR PWM(4kHz + 30%균등분배)을 사용하여도 Fixed PWM을 사용한 제어와 성능의 차이가 거의 없다는 것을 보여준다. 다만, 2.8 ~ 5.2kHz의 스위칭 주파수가 섞여 있기 때문에 전류 리플자체는 Fixed PWM과 비교하여 크게 나온다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 PR(Programmed Random) PWM기법이 HEV차량용 구동모터의 소음 개선 및 전류제어에 효과가 있음을 입증하였다.

이 논문은 2013년도 현대NGV의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] P. Nagasekhara Reddy, "Hybrid Random PWM Algorithm for Direct Torque Controlled Induction Motor Drive for Reduced Harmonic Distortion", India Conference (INDICON) 2011 Annual IEEE.
- [2] Cursino Brandão Jacobina, "Current Control for Induction Motor Drives Using Random PWM", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 45, NO. 5, OCTOBER 1998
- [3] Hamid Khan, "Discontinuous Random Space Vector Modulation for Electric Drives: A Digital Approach", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 27, NO. 12, DECEMBER 2012