

AC 및 DC 전원을 사용한 단상 영구자석 전동기의 구동 시스템

정부문, 이욱진

삼성전자 생활가전사업부

Single-phase permanent magnet motor drive system using AC and DC power

Bumun Jung and Wook-Jin Lee

Samsung Electronics Co. / Digital Appliances

ABSTRACT

본 논문에서는 AC 및 DC 전원을 동시에, 또는 선택적으로 사용하여 구동할 수 있는 단상 영구자석 전동기 구동 시스템을 제안한다. 제안된 회로는 일반적인 Full-bridge회로와 유사하게 4개의 전력 소자로 구성되어 경제적인 회로 구성으로 두 가지 전원을 사용할 수 있다. 또한, DC전원측으로의 전력 흐름도 가능하여, DC전원으로 배터리를 사용할 경우 충전 회로의 삭제도 가능하다. 제안된 회로의 동작을 모의실험을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

일반적인 모터 구동 시스템은 AC 또는 DC 둘 중 하나의 전원을 사용하여 전동기의 구동력을 얻는 시스템이다. 가전 시스템에서는 주로 AC를 사용한 전동기 구동이 주로 사용되어 왔으나, 청소기 등의 소형 가전의 경우 이동성에 대한 요구가 증가하고 있으며 고에너지 밀도의 배터리의 공급 가격이 하락함에 따라 점차 배터리를 전원으로 하는 가전의 수요/공급이 증가하는 추세에 있다.

배터리를 사용하는 가전의 경우, 배터리의 충전된 에너지가 한정되어 있기 때문에 사용 시간의 제약이 있으며, 이를 극복하기 위해서는 시스템의 고효율화 및 배터리 용량의 증대가 필수적이다. 그러나 시스템의 고효율화는 한계가 있을 뿐 아니라 시스템의 비용을 증가시킬 뿐 아니라, 크기와 무게 또한 증가시켜 제품의 이동성을 떨어뜨리는 요인이 된다. 따라서, 배터리뿐만 아니라 필요시 AC 전원을 같이 사용할 수 있는 시스템에 대한 연구가 있어 왔으나, 두 가지의 전원을 모두 사용 가능하게 하기 위하여 두 가지의 전력 변환 장치가 필요함에 따라 시스템 비용이 크게 상승하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 AC 및 DC 두 가지의 전원을 모두 사용하면서 전체 시스템을 단순하게 할 수 있는 새로운 전력 회로 토폴로지 및 제어 방법을 제안한다. 제안된 시스템은 회로의 단순화를 위하여 삼상의 전동기 대신 단상의 영구자석 전동기를 구동하도록 되어 있으며, DC전원측으로의 전력 흐름 또한 가능하기 때문에 전동기 구동 유무에 관계없이 배터리의 충전이 가능하다. 2장에서는 제안된 회로의 동작을 각 모드별로 설명하며, 3장에서는 모의실험 결과를 설명한다.

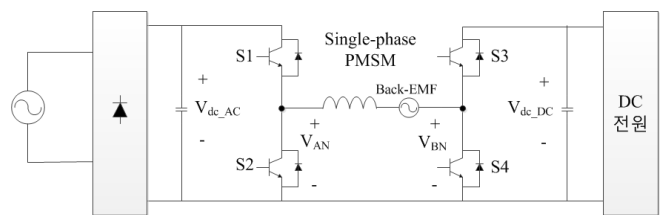


그림 1 제안된 단상 영구자석 전동기 구동 시스템

Fig. 1 Proposed Single-phase permanent magnet motor drive system

2. 제안된 회로의 구성 및 동작

단상 영구자석 동기전동기는 전동기와 구동 회로의 일체화 등으로 소형화에 유리한 점이 있어 소형 가전에 널리 사용되고 있다.^[1] 본 논문에서 제안하는 회로는 단상 영구자석 동기 전동기를 구동하기 위한 회로로 그림 1과 같이 두 개의 Half-bridge의 조합으로 구성되어 있으며, 각각의 Half-bridge는 Diode-bridge를 거쳐 정류된 AC전원 및 DC 전원에 각각 연결되어 있다. 각 Half-bridge의 출력은 단상 영구자석 동기 전동기로 연결되며, 전류 회로 구성을 위하여 그라운드는 서로 연결되어 있다. DC 전원측은 일반적으로 배터리가 연결될 수 있으며, 양 방향의 전력 흐름이 가능하기 때문에 별도의 충전 회로는 필요하지 않다.

단상 영구자석 전동기의 역기전력은 일반적으로 정현파 형태이며, 최적 효율의 제어를 위하여 전류도 역기전력과 동상의 정현파로 제어하는 것이 일반적이다. 그림 1의 회로에서 전동기의 구동 전력을 P_m , 이 때, 전동기 양단의 전압을 v_{AB} 이라고 정의하면, $p_m = v_{AB}i_m$ 이 된다. 전류 제어는 전동기의 전류가 i_m 이 되도록 하는 전압 지령 v_{AB}^* 을 생성하고 v_{AB} 는 $v_{an} - v_{bn}$ 이므로 두 Leg의 전압 차가 v_{AB}^* 가 되도록 PWM 한다.

2.1 AC전원, DC전원 동시 전력 공급

AC전원이 연결된 경우, 전압 지령 v_{AB}^* 를 양쪽의 Leg에서 원하는 파워 비율에 따라 분배하여 인가한다. 한 예로 AC전원측과 DC 전원측에서 동일한 크기의 파워를 공급하고자 할 경우, 각 Leg의 지령은 각각 아래와 같이 결정될 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{an}^* &= v_{AB}^*/2 + v_o \\ v_{bn}^* &= -v_{AB}^*/2 + v_o \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 v_o 는 Offset의 전압으로 정류된 DC전압과 배터리 전압 중 작은 전압의 1/2로 결정한다. 만약, 어느 특정 전원으로부터의 인출되는 파워의 크기를 크게 할 경우, 위 식 (1)에서 분배 비율을 조정하여 파워의 비율을 조절할 수 있다.

2.2 DC전원 전력 공급

AC전원이 연결되어 있지 않은 경우, 다이오드 정류기로부터 유입되는 파워가 없으므로, 모든 파워는 DC측으로부터 나와야 한다. 또한, AC 전원이 연결되어 있지 않으므로, 정류된 전압이 0이 되기 때문에, AC측 Leg의 직류단 전압을 일정수준 이상으로 유지하기 위하여 우선 AC측 직류단 전압 제어를 할 필요가 있다. 직류단 전압의 제어는 식 (1)의 전압 지령을 조작하여 이루어지며, 전압의 제어가 완료되면 v_{an}^* 은 순수하게 무효 전력만을 가지게 된다. 그러나 실제적으로는 손실이 발생하게 되므로 약간의 유효 전력 성분도 필요하게 된다.

2.3 AC전원측으로부터 DC전원측으로의 전력 공급

AC전원이 연결되어 있고 DC 전원측으로의 공급이 필요할 경우, 예를 들면 DC 전원으로 사용되는 배터리의 충전이 필요한 경우, 그림 1의 회로는 일반적인 Buck 회로와 같이 동작한다. 이 경우 S3는 항상 On이 되어 있으며, S1과 S2 스위치의 동작을 통하여 DC전원측으로 전력을 공급할 수 있다. 또한, 전동기가 구동 중일 경우, v_{an}^* 전압 지령을 v_{AB}^* 보다 크게 하고, v_{bn}^* 을 v_{an}^* 과 부호를 같게 유지할 경우, 전동기의 구동 중에도 DC전원측으로의 전력 흐름이 가능하다.

4. 모의실험 결과

본 논문에서 제안한 구동 회로의 운전 모드 중 AC 및 DC 전원으로부터 50%씩의 전력을 사용하는 경우 그림 2(a) 및 AC 전원만을 사용하는 경우, DC 전원만을 사용하는 경우에 대하여 모의실험을 진행하였다. 단상 영구자석 동기 전동기는 200W, 4극 전동기이고, 230V, 50Hz의 AC전원 및 100V의 DC 전원을 사용하였다. 그림 2(a)는 AC전원 및 DC 전원으로부터 각각 50%의 전력을 전동기에 공급하고 있는 파형이다. 전동기의 전류와 역기전력은 동상으로 제어되고, 전동기의 전압 지령 v_{AB}^* 는 각각 반씩 양쪽의 Leg를 통하여 출력되게 된다. 그림 2(b)는 AC 전원으로부터 100% 전력을 공급하고 있는 파형이다. 전동기 전류와 역기전력의 파형은 (a)의 경우와 유사하나, 전체 전동기의 전압을 AC전원측 Leg에서 전부 공급하고, DC 전원측은 S3를 100% On하여 일정 전압으로 유지된다. 이 경우, DC전원측은 유효 전력은 0이지만, DC전원측으로 전동기의 회전 주파수로 맥동하는 전력의 출입이 있다. 그림 2(c)는 DC 전원측에서 100%의 전력을 공급하는 경우이다. 이 경우, 전동기에 인가되어야 할 전압 v_{AB}^* 중 전동기의 전류와 동상인 유효 전력 성분의 전압만을 DC전원측에서 담당하고, 전동기 전류와 90도의 위상차를 갖는 무효 전력 성분의 전압만을 AC전원측 Leg에서 담당한다. 이 때, AC전원측 직류단 전압을 일정

하게 유지하기 위하여 약간의 유효 전력 성분을 이용한다.

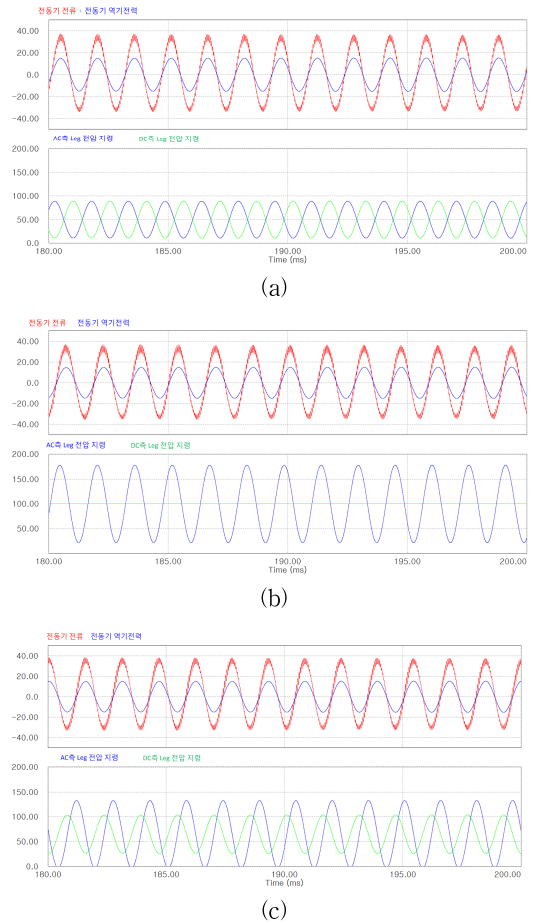


그림 2 전동기 전류, 역기전력 및 각 Leg 전압지령
Fig. 2 Motor current, back-EMF and voltage references of each legs

4. 결론

본 논문에서는 단상 영구자석 전동기를 AC 및 DC 전원을 사용하여 구동 가능한 회로를 제안하였다. 제안된 회로의 경우 AC/DC 각각의 전원으로부터의 파워 출력을 독립적으로 제어할 수 있어 필요에 따라 각각의 파워를 선택적으로 사용할 수 있다. 또한, DC 전원으로의 파워 흐름도 가능하여 배터리를 사용할 경우 충전까지 가능한 장점이 있다. 일반적인 단상 영구자석 동기 전동기의 구동 회로인 Full-bridge 회로와 유사한 구조로써 추가적인 비용 없이 두 가지 전원을 동시에 사용이 가능하다는 장점이 있다. 제안된 구동 방법은 컴퓨터 모의실험을 통하여 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 이욱진, 정부문, "초고속 단상 BLDC 전동기의 고역률 전력 제어 방법", 전력전자학회 논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 144-149, 2016 4월.
- [2] Wook-Jin Lee and Jung-Ik Ha, "Individual MPPTs of dual photovoltaic arrays using single-phase split-dc bus inverter", APEC Proceeding, pp. 116-121, 2013.